



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

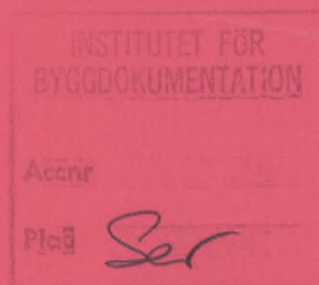
R13:1989

REF/sbl

Flänselement för luftförångare

**Laboratorieprov samt datorprogram
för bestämning av prestanda**

Urban Lindström



Byggforskningsrådet

R13:1989

FLANSELEMENT FÖR LUFTFÖRÄNGARE

Laboratorieprov samt datorprogram
för bestämning av prestanda

Urban Lindström

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
841139-5 från Statens råd för byggnadsforskning
till Institutionen för mekanisk värmeteorik och
kylteknik, Tekniska högskolan, Stockholm.

REFERAT

Flänselement används i många olika tillämpningar. På Institutionen för mekanisk värmeteorik och kylteknik, KTH, har, även tidigare, ett flertal undersökningar genomförts avseende värmeövergång och tryckfall m m i flänselement använda som förångare eller som värmewäxlare i luft - köldbärare eller vatten - luft. Samband och beräkningsrutiner har då utvecklats. I denna rapport redovisas dels en sammanställning av beräknings-samband och ett datorprogram där dessa rutiner samman-förts, dels experimentella resultat från undersökningar av en förångare i olika utföranden.

I rapportens första del redovisas således resultat från undersökningar av en förångare i kommersiellt utförande varvid inverkan av olika modifieringar, speciellt avseende matningsmetoder för köldmedel, undersökts. Det påvisas att expansionsventilen kan ha en helt avgörande inverkan. Termosifoncirkulation kan ge avsevärd förbättring, förutsatt att förångarrörelsens längd avpassas på ett någorlunda optimalt sätt.

I den andra delen av rapporten redovisas beräkningsrutiner som utvecklats vid institutionen och som här sammanförts till en första version av ett datorprogram för beräkning av prestanda för flänselement. Olika fall av värmeövergång i rören behandlas; såväl fullständig förångning som fall med pumpcirkulation eller termosifon-cirkulation. Även vätskeströmning är ett av fallen som programmet beräknar. Flänselementets geometriska dimensioner fordras även som indata. Programmet bestämmer värmeeffekt och tryckfall på luft- och rörsida för föreskrivna belastningsfall t ex karakteriserade av temperaturdifferensen mellan ingående medier. I rapporten visas slutligen också jämförelser mot provdata liksom mot vissa katalogdata för några på flänselement av olika utföranden.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift har tryckts på miljövänligt, oblekt papper.

R13:1989

ISBN 91-540-4997-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1989

SAMMANFATTNING	5
1 BAKGRUND	7
2 LABORATORIEPROV MED FÖRÅNGARE	8
2.1 Försöksutrustning	8
2.2 Provomfattning	9
2.2.1 Allmänt	9
2.2.2 Flänselement av standardtyp med termostatisk expansionsventil.	10
2.2.3 Flänselement av standardtyp med handreglerad ventil.	11
2.2.4 Flänselement modifierat med ter- mosifoncirkulation på köldmedie- sidan.	12
2.3 Resultat i diagramform	14
2.3.1 Flänselement av standardtyp med termostatisk expansionsventil.	14
2.3.2 Flänselement av standardtyp med handreglerad ventil.	16
2.3.3 Flänselement modifierat med termos- ifoncirkulation på köldmediesidan.	17
3 DATORPROGRAM FÖR FLÄNSELEMENT	18
3.1 Allmänt	18
3.2 Programfilosofi, programmets uppbyggnad - flödesschema.	18
3.3 Använda samband	22
3.3.1 Totala värmegenomgångstalet, k-värdet.	22
3.3.2 Värmegenomgångstalet på flänsens utsida, α_{fl}	23
3.3.3 Flänsverkningsgraden ξ	26
3.3.4 Värmeövergångstalet på rörens insida, α_i	28
3.3.4.1 " vid påtryckt rörströmning.	28
3.3.4.2 " " fullständig förångning.	29
3.3.4.3 " " ofullständig " 	30
3.4 Exempel på programkörning	31

	sid
4 JÄMFÖRELSE PROV - BERÄKNINGAR	39
5 SLUTSATSER OCH DISKUSSION	41
LITTERATUR	43
BILAGA 1 Jämförelse mellan Svenska Fläkts datorprogram CPO1 och institutionens datorprogram.	44
BILAGA 2 Nomogram för beräkning av flänsverknings- graden ξ enligt [4].	51
BILAGA 3 Viskositet och värmeledningstal för köld- medier i flytande tillstånd enligt [5].	52
BILAGA 4 Nomogram för beräkning våt last, α_d , enl. [4].	53
BILAGA 5 Köldmediediagram R502.	54
BILAGA 6 Protokoll från laboratoriemätningar.	55

SAMMANFATTNING

Föreliggande rapport omfattar följande två huvudmoment:

- Laboratorieprov med flänsэлемент i förångardrift.
- Datorprogram för beräkning av prestanda för flänsэлемент.

Laboratorieprov.

Flänsэлементet som undersökts är avsett att användas som förångare i en värmepump med uteluft som värmekälla. Försöksutrustningen vid laboratorieproven beskrivs. Provens omfattning och resultat presenteras och kommenteras.

Undersökningen visar, vilket kanske var väntat, att den termostatiska expansionsventilen i vissa driftfall ger en mycket ofördelaktig drift av värmepumpen eller kylanläggningen. Expansionsventilens reglerfunktion medför i många fall att överhettningen blir onödigt stor. I vissa fall är den helt avgörande för temperaturdifferensen i förångarenheten och därmed för värmepumpen som helhet.

Laboratorieproven har visat att det för provad förångare är möjligt uppnå mindre temperaturdifferens genom att reducera överhettningen. I denna undersökning har följande två metoder undersökts.

- Kөldmediematning med handreglerad strypventil.
- Kөldmediematning med termosifoncirkulation.

Vid den första modifieringen ersattes expansionsventilen med en handreglerad strypventil. Detta gjordes för att påvisa den potential som finns om överhettningen kan reduceras. Vid den andra modifieringen byggdes förångarelementet om till köldmediematning med termosifoncirkulation.

Vid båda dessa typer av köldmediematning har vid proven till största del de ovan nämnda negativa följderna av en alltför stor överhettning kunnat undvikas.

Datorprogram.

Som den andra deluppgiften i detta arbete har ett program utarbetats som, så långt resultaten kunnat kontrollerats, genererar rimliga utdata. Datorprogrammets uppbyggnad och arbetssätt genomgås; ingående samband förklaras och exempel på en provkörning med tillhörande resultatutskrifter ges.

Kontroller har gjorts med de egna laboratorieprov som utförts under provets gång och med Svenska Fläkts datorprogram CP 01. Överensstämmelsen med de egna proverna är rimligt god för konventionell drift med expansionsventil såväl som för drift med manuell strypventil eller termosifoncirkulation. En jämförelse med Fläkts datorprogram CP 01 visar att vi för turbulent rörströmning med vatten på insidan har en god överensstämmelse mellan de båda programmen. Vid förångardrift med fullständig förångning fås en något större avvikelse vilken ökar med elementets belastning.

Programmet är fortfarande föremål för utveckling. Vi vill därför passa på att efterlysa data för kontroll av dess funktion. Exakt vilka data som fordras för beräkningen framgår av kapitel 2.2. Upplysningar om lämpliga undersökningar, egna eller andras, mottages därför tacksamt.

1 BAKGRUND

Värmeutbytande ytor förses ofta med ytförstorande flänsar för att öka värmeöverföringen. Detta är särskilt viktigt om värmeövergångstalet, α -värdet, är lågt som tex i fallet värmeöverföring till luft. Elementet förses då med en stor ytförstoring på luftsidan för att minimera värmeövergångsmotståndet och bidra till ett högt totalt värmeövergångstal, k -värde. Genom detta kompenseras alltså det låga värmeövergångstalet med en förstorad yta. Denna typ av värmeutbytande ytor brukar benämnas flänselement och används tex som förångare eller kondensorer inom kyl- och värmepumpapplikationer. Ett annat användningsområde kan vara som kyl- eller värmebatterier i luftbehandlingsanläggningar.

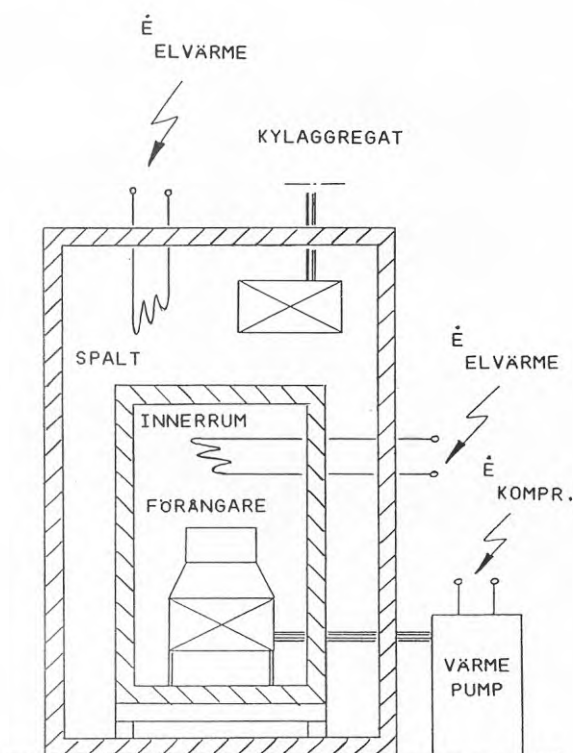
De temperaturdifferenser som inställer sig över tex ett förångarelement bestäms emellertid i vissa driftfall av köldmediematningsanordningen, ofta en expansionsventil. Expansionsventilens överhettning kan i vissa driftfall bli så stor att den helt dominerar i de differenser som inställer sig. Vilka egenskaper får flänselementet med olika typer av köldmediematning? Hur påverkas överhettningen och därmed förångarens temperaturdifferenser av detta? I syftet att undersöka vilken inverkan en minskad överhettning har på elementets prestanda har intresse funnits att prova en alternativ matningsanordning, i detta fall genom termosifoncirkulation.

Ett annat önskemål har varit att kunna beräkna prestanda för ett väl beskrivet flänselement utgående från de samband som gäller för den tillämpade termodynamiken. Flänselementets geometri och andra förutsättningar skall på ett relativt fritt men ändå förutsättningslöst sätt kunna väljas. Med ett sådan program bör därmed inverkan av olika parametrar kunna kontrolleras och försök till optimeringar göras. Som ett andra delmoment i denna rapport har därför ett arbete bedrivits med syftet att utveckla ett sådant program.

2 LABORATORIEPROV MED FÖRÅNGARE

2.1 Försöksutrustning

Förångareexperimenten har utförts i ett kylrum (klimatrum) där temperaturen kunnat regleras mellan ca -25 och $+20^{\circ}\text{C}$. Detta för att kunna simulera de driftbetingelser som fläns-elementet (förångaren) blir utsatt för i praktisk drift. I kylrummet har ett kalorimeterrum byggts vari sedan förångaren placerats. Anledningen till detta förfaringssätt kommer att förklaras nedan. Förångaren har vid proven kopplats till ett standard värmepump-aggregat av enhetstyp vilket placerats utanför klimatrummet. I fig 2.1 visas en översiktsskild på försökssupställningen.



FIGUR 2.1 Klimatrum (kylrum) med förångarelement.

Under provet eftersträvar man att hålla temperaturen i spalten och i rummet lika. Temperaturen i spalten regleras med kylrummets kylaggregat och elektriska element vilkas effekt kunnat regleras till önskad balanspunkt. I kalorimeterrummet balanseras förångarens värmeupptagning (kyleffekten) även där med elektriska värmeelement. Vid lika temperatur i spalten och rummet blir därför förångarens kyleffekt lika med den tillförda

effekten i kalorimeterrummet och därför noggrannt bestämd.

Väggen mellan kalorimeterrummet och spalten utgörs av en lätt men lufttät värmeisolerad konstruktion för att temperaturerna snabbt skall kunna svänga in mot nya jämviktspunkter. Då exakt lika temperatur ej alltid är praktiskt möjlig att uppnå i rum och spalt kompenserar man för detta genom termen $(k \cdot A \cdot \Delta t)_{\text{innervägg}}$. Genom ett kalibreringsprov för rummet har $(k \cdot A)_{\text{iv}}$ bestämts. Detta tillgår så att man låter kylrummets kylanläggning temperera hela provrummet inklusive kalorimeterrum till lika temperatur. Därefter värms kalorimeterrummet med en elvärmare så att en temperaturdifferens relativt den utanför liggande spalten uppstår. Genom att avläsa den temperaturskillnad Δt som efter hand inställer sig och uppmäta den elenergi Q_{el} som tillförs kalorimeterrummet erhålls: $(k \cdot A)_{\text{iv}} = Q_{\text{el}} / \Delta t$. Resultatet från proven gav som medelvärde $(k \cdot A)_{\text{iv}} \approx 13 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

Vid proven på förångarelementet var temperaturdifferensen mellan spalt och rum i allmänhet mindre än 2°C varmed korrektionen är av storleksordningen 25 W medan kyleffekten varit $2 - 8 \text{ kW}$.

Den elenergi som vid proven tillförts de elektriska elementen har uppmätts med kalibrerade kilowattimmätare och stoppur. Enligt kalibreringsintyg från Stockholms energiverk var mätarnas felvisning mindre än 0.5% . Tillförd energimängd har också uppmätts för värmepumpaggregatets kompressor.

Temperaturmätningarna har utförts med termoelement av typ koppar-konstantan och en temperaturskrivare med skrivarpapper. Följande temperaturer har varit av särskilt intresse. Temperaturen i spalten, lufttemperaturen in i respektive ut ur förångaren och köldmedietemperatur före expansionsventilen respektive efter förångaren.

På köldmediesidan har tryckfallet över förångaren uppmätts med en kvicksilverfylld U-rörsmanometer. Förångningstemperaturen fastställdes genom mätning av trycket vid förångarutloppet med hjälp av precisionstryckmanometer. Manometern kalibrerades med en vid Institutionen befintlig specialutrustning för kontroll av tryckmanometrar. Trycket översattes sedan till motsvarande temperatur med hjälp av köldmediedata för aktuellt köldmedium enligt [7].

För bestämning av luftflödet genom förångaren har lufthastigheten vid förångarinloppet uppmätts med en vinghjulsanemometer. Då flödet ej är helt jämnt fördelat över tvärsnittsytan har ett medelvärde uppskattats genom att "måla" med anemometern över ytan ett antal gånger och därefter avläsa ett medelflöde.

2.2 Provomfattning

2.2.1 Allmänt

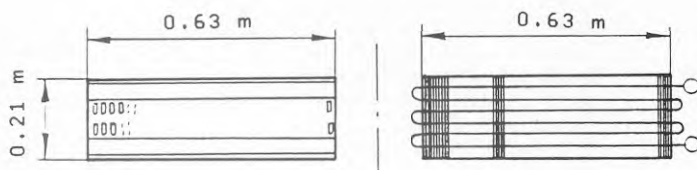
Förångarproven har som tidigare nämnts utförts i lufttemperaturer mellan -25 och $+20^\circ\text{C}$. Proven har utförts med det inre rummet förslutet och utan att fukt tillsatts. Förhållandena kan därför anses vara sådana att endast s.k. torr värmeövergång utan diffusionsbidrag förekommit.

Flänsselementet som har varit föremål för provning är av standardtyp och fanns ursprungligen monterad som förångare till en uteluftvärmepump. Som kompressorenhet har vi använt det värmepumpaggregat som förångaren vanligen standardlevereras med. Köldmedium har vid samtliga prov varit R 502; också det standard för denna anläggning.

Elementet har modifierats under provningen och undersökningen har omfattat följande tre moment.

- Förångaren i konventionellt utförande med standard expansionsventil och 6 förångarslingor.
- Förångare i konventionellt utförande men med handreglerad ventil och som tidigare 6 förångarslingor.
- Förångaren modifierad till termosifoncirkulation på köldmediesidan nu med 18 förångarslingor.

I figur 2.2 visas flänsselementet med geometriska data. Förångarfläkten som använts är den som standardmonteras på detta element. Lufthastigheten har med denna fläkt uppmätts till ca 1,7 m/s vid inloppet (gällande för frostfritt batteri).



FIGUR 2.2 Flänsselementet har i sitt standardutförande följande geometriska data.

Rördiameter: $d_y=9.52$ mm; $d_i=7.74$ mm
 Rördelning tvärs/längs luftström: 35/35 mm
 6 rörrader i djupled med rören i linje.
 Total rörlängd 78 m med 6 slingor a' 13.0 m.
 123 flänsar av Al med tjockleken $\delta \approx 0.2$ mm
 Total flänsarea $A_{f1}=37.4$ m²; total yttre-
 area $A_y=39.6$ m²

2.2.2 Flänsselement av standardtyp med termostatisk expansionsventil

Vid provets första del registrerades driftdata för den konventionella förångaren. Med begreppet förångare avses flänsselementet samt den anordning varmed köldmediet tillförs; här en standard expansionsventil med s.k. MOP-funktion (Maximum Operating Pressure) och utan möjlighet att variera köldmediegasens överhettning. Med överhettning menas övertemperaturen relativt

mättnadstemperaturen i förångarutloppet. MOP-funktionen hos expansionsventilen innebär att ventilens öppningsgrad och därmed genomsläppt köldmediemängd begränsas. På så sätt begränsas också kondensorns värmeavgivning.

Överhettningen skall säkerställa att inte medföljande vätskedroppar når kompressorn. Tidigare prover vid bl a Institutionen visar att konventionella termostatiska expansionsventiler i allmänhet kräver som lägst 6 a' 8 °C överhettning för att en säker och stabil drift skall erhållas. Vid låga belastningar tenderar därför i allmänhet expansionsventilens överhettning att helt dominera i de temperaturdifferenser som med nödvändighet inställer sig vid förångardrift. Dessa temperaturdifferenser bör allmänt sett minimeras för att kyl- eller värmepumpanläggningen som helhet skall arbeta under gynnsamma driftsbetingelser. Kompressorn kommer annars att arbeta med en onödigt låg förångningstemperatur med åtföljande höjning av drivenergiebehovet.

Olika metoder har provats för att i någon mån eliminera expansionsventilens negativa egenskaper. Vid Institutionen har tidigare gjorts framgångsrika försök med att lura expansionsventilens känselkropp. Vid ett föredrag vid XII Nordiska Kylmötet i Stockholm 1985 [9], redogjordes för detta försök. Känselkroppen, som är placerad vid förångarutloppet, känner temperaturen på köldmediegasen. Ventilen försöker med hjälp av känselkroppen att upprätthålla ett förinställt värde på överhettningen. Genom att anbringa en liten elektrisk värmare, tex ett elektriskt motstånd, vid ventilens känselkropp uppfattar ventilen en högre temperatur på köldmediegasen vid förångarutloppet än vad som är fallet. Om däremot köldmediedroppar kommer ut ur förångaren kyls rörväggen mera effektivt och ventilen får en stängningssignal.

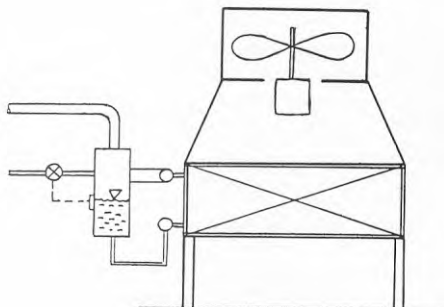
Elektroniska expansionsventiler är en ny typ av ventiler som börjat förekomma på marknaden. Tanken är att man med dessa skall kunna sänka överhettningen från 6 a' 8 °C till kanske 1 a' 2 °C.

2.2.3 Flänselement av standardtyp med handreglerad ventil.

Vid provets andra del ersattes expansionsventilen med en handreglerad strypventil där överhettningen justerades till den lägsta möjliga. Vi hoppas då kunna vinna större delen av den temperaturdifferens som motsvarar överhettningen. Denna metod att reglera köldmedietillförseln är naturligtvis ej möjlig för det stora flertalet av tillämpningar men är ändå intressant då den ger oss en möjlighet att se hur långt vi kan komma när det gäller att minimera överhettningen samt för att se vilken inverkan detta rent praktiskt får för värmepumpens drift. Provet ger oss alltså ett intressant jämförelsematerial när det gäller bedömningen av resultaten från vårt kommande prov.

2.2.4 Flänsэлемент modifierat med termosifoncirkulation på köldmediesidan.

Vid provets tredje del modifierades förångarelementet till köldmediematning med termosifoncirkulation, se principskiss i figur 2.3. Vid det fallet genomströmmas förångaren av större köldmediemängd än vid fallet fullständig förångning. Köldmediet cirkuleras genom termosifonverkan i ett kretslopp genom förångarslingorna till en vätskeavskiljare vilken monterats på elementet. Vid denna typ av köldmediematning blir köldmediet ej fullständigt förångat utan innehåller delvis oförångat freon. Detta oförångade köldmedium stannar i vätskeavskiljaren för att återcirkuleras i elementet medan det förångade mediet, vilket då är av mättnadstemperatur, sugas av och går vidare till kompressorn. Köldmediets strömning från receivern till förångarelementets vätskeavskiljare styrdes i detta fall av en expansionsventil där känselkroppen monterats som nivåkännande enhet på vätskeavskiljaren. Känselkroppen värmdes elektriskt med ett motstånd vilken då strävar att öppna expansionsventilen för att släppa in ytterligare köldmedium. När alltför mycket köldmedium finns i förångarenheten stiger nivån i vätskeavskiljaren och kyler därmed känselkroppen med en strypning av ventilen som följd. Genom dessa båda villkor inställer sig alltså en balanspunkt där nivån i avskiljaren hålles relativt konstant.



FIGUR 2.3 Flänsэлементet modifierat till termosifoncirkulation; principskiss.

Stigrör: d_y/d_i : 28.6/26.4 mm ; h/l: 0 /0.3 m
 Fallrör : " : " " ; " : 0.23/0.4 m
 D/d för förångarslingornas krökar: 4
 Antal krökar per slinga: 5
 Antal slingor i elementet: 18 ; L/slinga: 4.05 m
 Höjdskillnad för en slinga i förångaren: 0.25 m

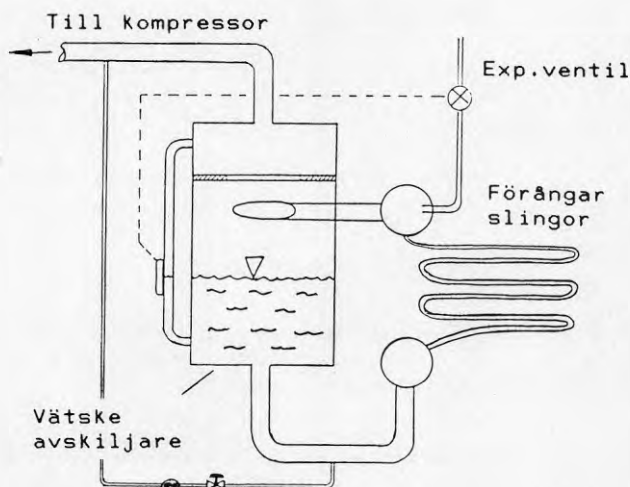
Den metod vi valde för reglering av nivån i vätskeavskiljaren är bara en av många möjliga principer och metoden i sig inverkar ej i övrigt på förångarens driftegenskaper. Överhettningen skulle alltså i detta driftfall till stor del kunna undvikas med motsvarande höjning av förångningstemperaturen.

Nivån i vätskeavskiljaren kontrollerades i vårt fall med en termostatisk expansionsventil, vilken är en av flera tänkbara lösningar. Ett annat alternativ skulle kunna vara att reglera nivån med en magnetventil och någon nivåkännande enhet, tex en vanlig flottör.

På grund av de höga gashastigheter som uppkommer i sugledningen till kompressorn kan vätskedroppar ryckas med från den fria ytan i vätskeavskiljaren. Som en extra säkerhetsåtgärd kan därför en intern värmeväxling ordnas mellan vätskeledning och sugledning för att förånga de eventuellt medföljande vätskedropparna.

För att undvika att den olja som följer med köldmediet från kompressorn blir kvar och anrikas i förångaren, drogs ett mindre delflöde av från vätskeavskiljarens lägsta punkt och kopplades in på sugledningen efter vätskeavskiljaren. Under försökens gång kunde ingen ansamling av olja ses i förångaren. Det är viktigt att oljeåterföringen säkerställs och metoden som användes vid proven föreföll fungera väl.

I figur 2.4 visas hur detta rent praktiskt ordnades med ett kapillärrör, en liten handventil och ett synglas för kontroll av flödet.



FIGUR 2.4 Bypasskoppling av köldmedievätska för att säkerställa en fungerande oljeåterföring.

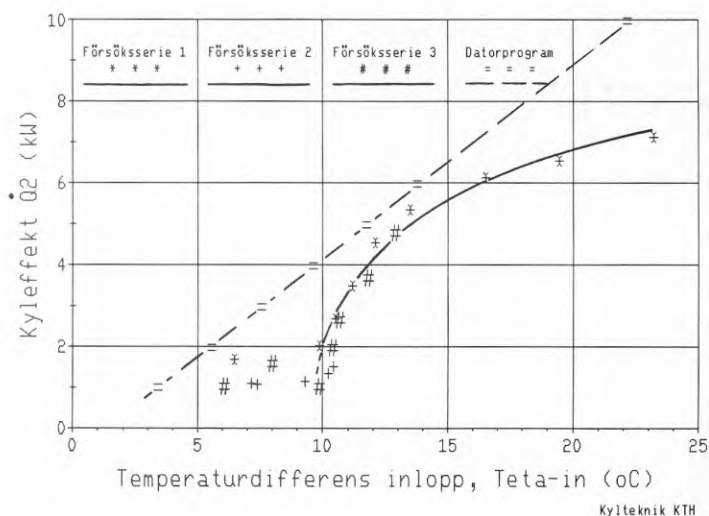
Vid termosifonfallet påverkar en mängd parametrar förångarens prestanda. Förutom det som är gemensamt med standardfallet, dvs förångargeometri, lufthastighet, rördimensioner mm, så påverkas prestanda även av vätskeavskiljarens drivhöjd, stigrörs- och fallrörsdiameter, om slip förekommer i stigarledning, etc. Slip innebär att de båda faserna, dvs vätske- och gasfasen, ej har lika hastighet i stigarledningen.

Ett klargörande av de olika parametrarnas inverkan på den totala prestandan samt inbördes relationer hos parametrarna fordrar för en optimering tillgång till beräkningsmedel lämpligen i form av en dator med lämplig programvara.

2.3 Resultat i diagramform

2.3.1 Flänsselement av standardtyp med termostatisk expansionsventil.

Resultatet av provet presenteras i diagramform med förklarande kommentarer. Figur 2.5 visar upptagen kyleffekt, \dot{Q}_2 , som funktion av inloppsdimensionen ψ_{in} .



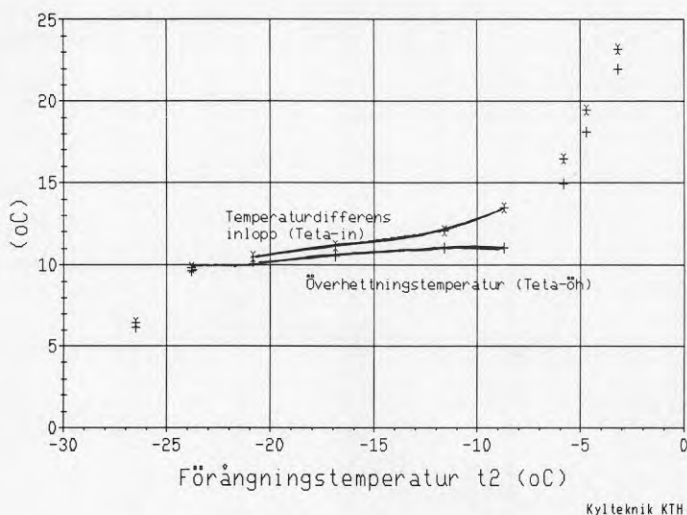
FIGUR 2.5 Kyleffekten \dot{Q}_2 som funktion av inloppsdifferensen ψ_{in} , lufttemperaturen in $t_{L,in}$ - förångnings-temperaturen t_2 .

Tre försöksserier har körts med standardelementet. Försöksserierna genomfördes vid olika tillfällen men med oförändrade förhållanden. Som synes har resultaten vid de olika serierna varit oförändrade som väntat.

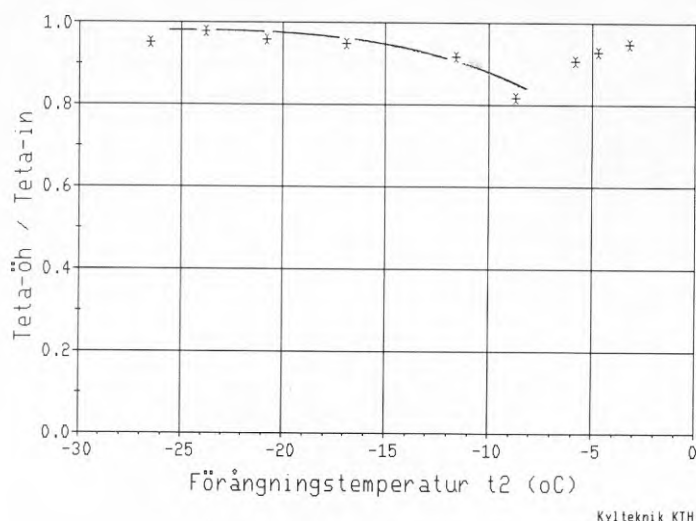
Vid proven användes en hermetisk kompressor. Variationen i kyleffekt erhöles genom att lufttemperaturen vid förångarinloppet ändrades. Detta innebär att en låg kyleffekt även svarar mot en låg förångningstemperatur. Den helldragna linjen visar försöksdata medan den streckade linjen avser en programlinje dvs vad programmet beräknar för ett standardfall med 5-7 °C överhettning; se vidare kap 3.

Expansionsventilen vill som tidigare sagts, för att upprätthålla en stabil styrning, i allmänhet ha minst 6-8 °C överhettning av köldmediegasen. Som framgår av diagrammet vill ventilen i detta fall ha ca 10 °C. De allra lägsta punkterna, i kyleffektområdet 1 - 1,5 kW, härrör från mycket låga förångningstemperaturer där ventilen i det närmaste är stängd. Variationen hos mätpunkterna kan bero på en hysteresiseffekt hos ventilen och man har här ej längre någon stabil styrning.

Vid sjunkande kyleffekt och förångningstemperatur minskar överhettningen i absoluta tal, vilket framgår av figur 2.6, men utgör samtidigt en allt större del av inloppsdifferensen vilket tydligt visas i figur 2.7. Anledningen att kurvan viker av uppåt igen vid förångningstemperaturer över -8 °C synes vara att ventilens MOP-funktion träder i funktion och begränsar den genomsläppta köldmediemängden och fixerar därigenom förångningstemperaturen. Vid stigande lufttemperaturer måste därför de nämnda temperaturdifferenserna öka.



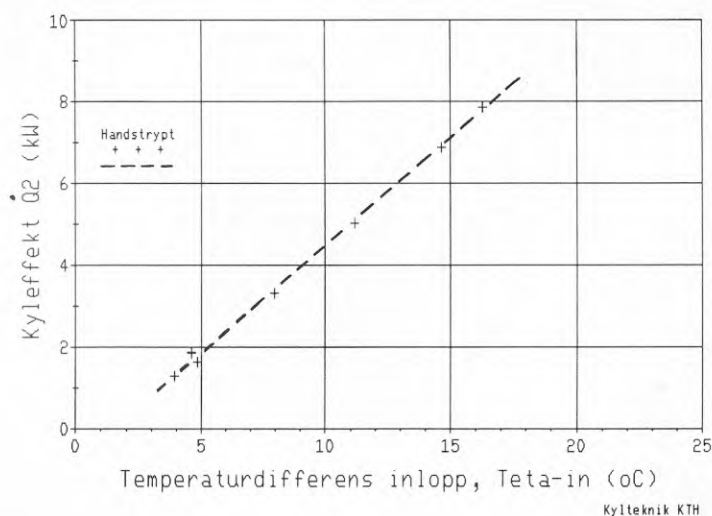
FIGUR 2.6 Temperaturdifferensen vid inloppet (ϑ_{in}) och överhettningstemperaturen (ϑ_{oh}) som funktion av förångningstemperaturen t_2 .



FIGUR 2.7 Förhållandet överhettningstemperaturen / inloppsflödet, $\dot{v}_{\text{öh}} / \dot{v}_{\text{in}}$, som funktion av förångningstemperaturen t_2 .

2.3.2 Flänsэлемент av standardtyp med handsreglerad ventil.

I figur 2.8 visas kyleffekten \dot{Q}_2 som funktion av inloppsdifferensen \dot{v}_{in} för standardelementet med handstrykt ventil.

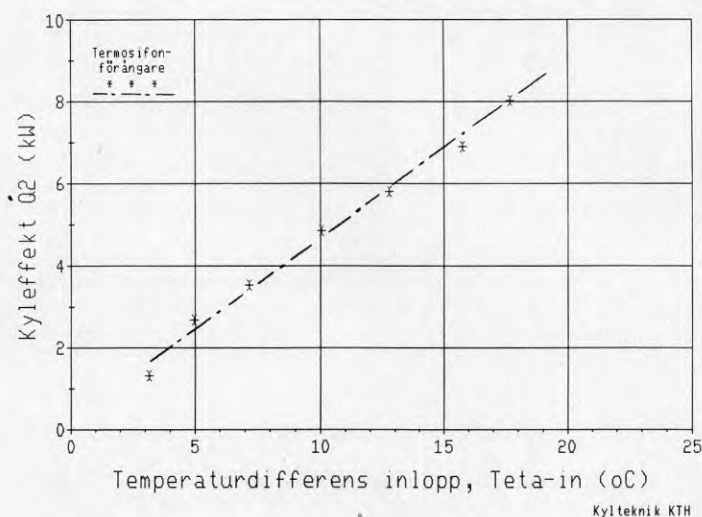


FIGUR 2.8 Kyleffekten \dot{Q}_2 som funktion av inloppsdifferensen \dot{v}_{in} .

I jämförelse med standardfallet (figur 2.5) blir här \dot{v}_{in} nästan halverad i det lägre effektområdet. Vid praktisk drift får då förångningstemperaturen motsvarande höjning, kompressorn känner denna högre förångningstemperatur och arbetar därmed lättare.

2.3.3 Flänselement modifierat med termosifoncirkulation på köldmediesidan.

I figur 2.9 visas kyleffekten \dot{Q}_2 som funktion av inlopps-differensen \dot{v}_{in} för den modifierade förångaren med termosifoncirkulation.



FIGUR 2.9 Kyleffekten \dot{Q}_2 som funktion av inloppsdifferensen \dot{v}_{in}

En jämförelse mellan figur 2.8 och 2.9 visar att resultatet från proven av de båda förångarna synes vara likartat. Kommentarererna i anslutning till figur 2.8 gäller därför även här.

3 DATORPROGRAM FÖR FLÄNSELEMENT

3.1 Allmänt

Programmet beräknar i sin nuvarande utformning prestanda för flänselement inom följande användningsområden.

- Kyl- eller värmebatterier; luftberörda element där vatten kallt eller varmt, cirkuleras på rörens insida.
- Förångare av konventionell typ; element med köldmedium på insidan. Fullständig förångning kan f.n. beräknas.
- Termosifonförångare- ofullständig förångning; utförande i princip som ovan men där köldmediet cirkuleras runt i förångaren av termosifonkrafter.

Vid beräkningarna används de samband för värmeöverföring som anges av kylteknisk facklitteratur och andra källor inom den tillämpade termodynamiken. Vi redovisar i rapporten dels sambanden som de definieras i våra källor samt, i de fall som formlerna anpassats för datorbearbetning, även dessa bearbetade samband.

Vår ambition har varit att göra programmet självinstruerande och därmed möjligt att använda även för den som ej är insatt i programmets uppbyggnad och arbetssätt. Uppläggningsen har därför gjorts i form av ett dialogprogram.

3.2 Programfilosofi, programmets uppbyggnad - flödesschema.

Programmet, som beräknar prestanda för ett flänselement med påtryckt rörströmning respektive fullständig eller ofullständig förångning på insidan, kräver ingen detaljerad kännedom om programmets uppbyggnad av användaren. Programmet är upplagt i form av ett dialogprogram där data stegvis tillförs genom att en rad frågor ställs under körning. Huvudprogrammet är kort, och det huvudsakliga arbetet, inläsning av data, specificering av driftförhållanden, beräkningar, utskrift, etc, utförs i subrutiner som anropas från huvudprogrammet. Subrutinerna är dels sådana som funnits vid Institutionen sedan en tid dels sådana som utvecklats speciellt för programmet.

En överskådlig och väl strukturerad dokumentation torde göra att förståelsen för programmets arbetssätt ökar. Det bör därför vara möjligt att i framtiden förändra och utveckla programmet för de olika behov och önskemål som användaren kan ha.

Flödesschemat i FIGUR 3.1 visar principiellt hur programmet är uppbyggt.

Först presenteras om man så önskar en programinformation som översiktligt beskriver programmets uppbyggnad och användningsmöjligheter. Ingen körinstruktioner ges här; de följer under programmets körning.

I indatarutinen specificeras alla de indata som programmet behöver för beräkningarna. Följande allmänna data efterfrågas, vilka anges för samtliga element oavsett driftförhållandet på insidan:

- Rördimensioner i förångaren, d_y/d_j .
- Flänsdimension tvärs/längs luftriktning, 2H/2B.
- Flänsarnas form, här rak- eller sexkantig.
- Flänsarnas delning och tjocklek.
- Flänsmaterial.
- Antal rör per fläns i djupled.
- Antal flänsrader i djupled.
- Antal slingor i elementet.
- Längden per slinga.
- Värmemotstånd i rörvägg + beläggning; motsvarande värmeövergångstal anges.
- Lufttemperatur in
- Fronthastighet hos luften.
- Vattenhalt i ingående luft, dvs om våt belastning föreligger.

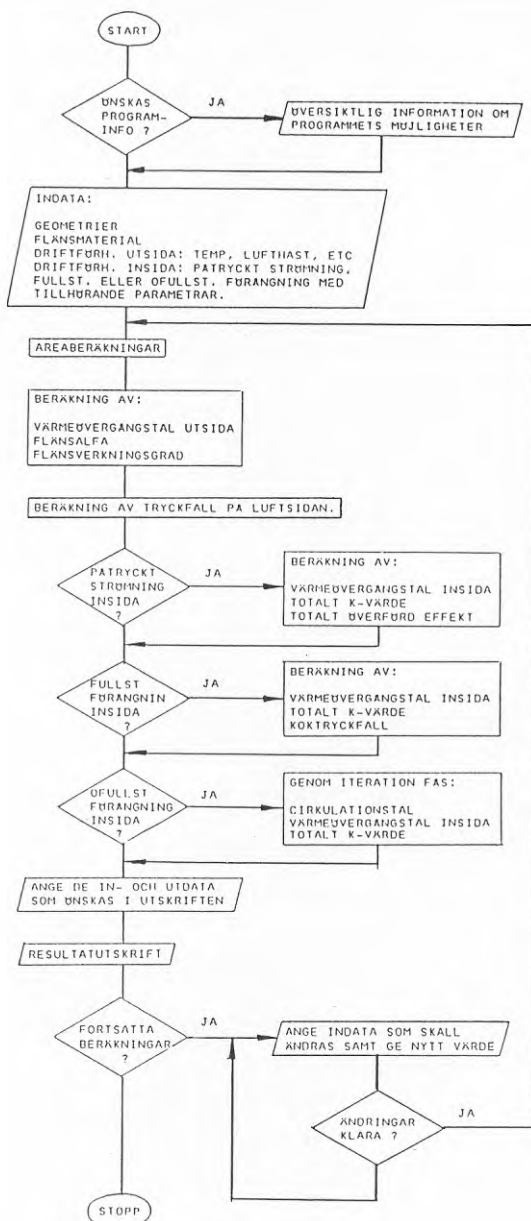
Därefter efterfrågas vilket driftförhållande som råder på insidan. Följande alternativ är för närvarande möjliga.

- Påtryckt rörströmning.
- Fullständig förångning.
- Ofullständig förångning, termosifoncirkulation.

Om påtryckt rörströmning råder på insidan efterfrågas:

- Strömningshastighet hos mediet på insidan.
- Ämneskonstanter för mediet såsom värmeledningstal λ , kinematisk viskositet ν , Prandtls tal $Pr = (\mu \cdot c_p)/\lambda$, densitet ρ och värmekapacitet c_p .
- Batteriets frontyta.
- Medietemperatur in.

FLÖDESSCHEMA



FIGUR 3.1 Principiellt flödesschema med de största programavsnitten angivna.

Vid fallet fullständig eller ofullständig förångning efterfrågas:

- Vilket köldmedium används? Köldmedierna R12, R22, R502 och R717 finns parametriserade i programmet. Vid annat köldmedium måste köldmediedata f n läggas in manuellt.
- Förångarens totala kyleffekt \dot{Q}_2 . Förångarens belastning anges direkt i kW. Ett alternativt sätt, vilket programmet f n ej klarar, är att vid beräkningarna utgå från kompresorns slagvolym, volymetriska verkningsgrad och köldmediets volymetriska köldalstring.

Vid fallet fullständig förångning på insidan efterfrågas därefter följande:

- Köldmediets ånghalt efter expansionsventilen in i förångaren.
- Friktionsfaktor på köldmediesidan i förångarslingorna; beräknas ej av programmet i fallet fullständig förångning utan anges av användaren. Friktionsfaktorerna storlek anges av [5B]. Vid oljefritt köldmedium (anl. med oljeavskiljare) är friktionsfaktorn ofta av storleksordningen 0.02 medan den vid närvaro av olja ofta är dubbelt så stor, se vidare [5B].

Slutligen efterfrågas vid fallet ofullständig förångning på insidan:

- Höjdskillnad för en slinga i förångaren.
- Fallrörsdimensioner: Diameter, längd och drivhöjd.
- Stigarrörsdimensioner: Diameter, längd och stighöjd.
- D/d för köldmedierörens krökar vilket erfordras för tryckfallsberäkningen.
- Antal krökar per slinga i förångaren.
- Om s k slip skall beaktas vid beräkningarna.

Slipen $s = \dot{\alpha} - \alpha$ där

$\dot{\alpha} = v_g / (v_g + v_l)$; ångfasens strömningshastighet i förhållande till medelströmningshastigheten för ånga+vätska

$\alpha = v_g / v$; medelvolymandel för ångan.

Metoden för beräkning av slip anges av [6] och proven är utförda med köldmedium R12 i vertikala rör. Sambanden antas här gälla även för andra köldmedier.

- Förekommer olja i köldmediet. Olja i köldmediet påverkar rörfriktionen och därmed tryckfallet och cirkulationstalet.

Efter inmatning av dessa data beräknas först areor, värmeövergångstalet $\alpha_{fläns}$ samt totalt tryckfall på luftsidan, Δp_{tot} . Därefter beräknas, beroende på de förhållanden som råder på förångarens insida, övriga relevanta data för bedömning av

flänselementets prestanda. Resultatet redovisas sedan av en utskriftsrutin där, vid den första datorkörningen, samtliga in- och utdata presenteras. Vid en eventuell fortsatt datorberäkning med förändrade indata kan man om man så önskar förändra resultatutskriften. Endast de data som så önskas presenteras därefter i utskriften. Denna möjlighet finns vid varje förnyad körning.

Efter presentation av resultatet tillfrågas användaren därefter om han önskar räkna på ett nytt fall med förändrade indata. Programmet frågar då efter de data som skall förändras. På så sätt tillförs nya data till dess att alla indata förändrats på önskat sätt. Genom detta förfarande möjliggörs en förenklad omkörning av programmet. De data som ej ändrats ligger naturligtvis kvar oförändrade. Programmet beräknar därefter prestanda för elementet med dessa nya indata.

3.3 Använda samband

3.3.1 Totala värmegenomgångstalet, k-värdet.

Programmet beräknar ett totalt värmegenomgångstal, k-värde, för flänselementet som sammansätts av:

$$\frac{1}{k \cdot A} = \frac{1}{\alpha_i \cdot A_i} + \frac{1}{\lambda \cdot A_m} + \frac{1}{\alpha_{f1} \cdot (A_{ry} + \xi \cdot A_{f1})}$$

där

k = totala värmegenomgångstalet

A = arean vilket det totala värmegenomgångstalet hänförs till; en godtycklig men bestämd area vanligen A_f , dvs total ytteryta $A_f = A_{f1} + A_{ry}$

α_i = värmeövergångstalet på rörens insida

A_i = total inre röryta

δ = rörväggens tjocklek

λ = värmeledningstalet för rörväggen

A_m = den logaritmiska medelarean för rörväggen vilken definieras $(A_i - A_y) / (\ln(A_i/A_y))$

α_{f1} = värmeövergångstalet på flänsens utsida

A_{ry} = total yttre röryta

ξ = flänsverkningsgraden

A_{f1} = total yttre flänsyta

Värmeövergångstalet med tillhörande areor beräknas av rutiner i programmet och sammansätts slutligen till k-värdet. Nedan följer en redogörelse för de samband som används vid beräkningarna och de litteraturreferenser varur de är hämtade.

3.3.2 Värmeövergångstalet på flänsens utsida, α_{f1} .

De samband för värmetransporten på luftsidan som används i programmet har framtagits av Granryd ref [1]. Värmeövergångstalet på flänsens utsida, α_{f1} , är enligt ref med viss bearbetning (om $A_{ry}/A_{f1} < 0,1$):

$$\alpha_{f1} = k_z \cdot C_\alpha \cdot \alpha_{sp}$$

Följande samband för k_z återger någorlunda tabellvärden i referensen.

$$k_z = 1 - (1-M) \cdot 1,5 \cdot (1-1/z)$$

där faktorn M beror av Re enligt följande:

$$\begin{aligned} \text{Re} \leq 1500 & \text{ är } M = M_0 \\ 1500 < \text{Re} < 5000 & \text{ är } M = M_0 + (1,05 - M_0) \cdot \\ & \cdot \left[(\lg(\text{Re}/1500)) / ((\lg(5000/1500))) \right] \\ 6000 < \text{Re} & \text{ är } M = 1,05 \end{aligned}$$

$$M_0 = 0,86 \text{ för sexkantig fläns}$$

$$M_0 = 0,91 \text{ för rak fläns}$$

Storheten C_α bestäms enligt :

$$C_\alpha = 1,05 + k_{Re} \cdot (k_A \cdot k_{Zr} - 1,05)$$

$$(\text{Om } A_{ry}/A_{f1} = 0 \text{ är } C_\alpha = 1)$$

För rör i linje gäller att:

$$\begin{aligned} \text{Re} \leq 1000 & \text{ är } k_{Re} = 0 \\ 1000 < \text{Re} < 6000 & \text{ är } k_{Re} = (\text{Re}/1000)^{0,39} - 1 \\ \text{Re} \geq 6000 & \text{ är } k_{Re} = 1 \end{aligned}$$

För rör i sicksack gäller på motsvarande sätt:

$$\begin{aligned} \text{Re} \leq 500 & \text{ är } k_{Re} = 0 \\ 500 < \text{Re} < 5000 & \text{ är } k_{Re} = (\text{Re}/500)^{0,30} - 1 \\ \text{Re} \geq 5000 & \text{ är } k_{Re} = 1 \end{aligned}$$

För rör i linje gäller att (om $0,01 \leq A_{ry}/A_f \leq 0,15$)

$$k_A = 1,92 \cdot (A_{ry}/A_f)^{0,13}$$

eller för rör i sicksack:

$$k_A = 2,39 \cdot (A_{ry}/A_f)^{0,19}$$

För k_{Zr} gäller att om:

z	: 1	2	3	5
k_{Zr} :	1	1.19	1.30	1.38

Beteckningen α_{sp} anger värmeövergångstalet i en (tänkt) spalt som bildas mellan flänsarna:

$$\alpha_{sp} = Nu_{sp} \cdot \lambda / d_e$$

där för:

$$500 < Re < 2500 : Nu_{sp} = 2.09 \cdot (Re \cdot d_e / l)^{0.35}$$

$$2500 < Re < 7000 : Nu_{sp} = 0.407 \cdot Re^{0.55} \cdot (d_e / l)^{0.3}$$

$$7000 < Re < 20000 : Nu_{sp} = 0.0358 \cdot Re^{0.8} \cdot (d_e / l)^{0.2}$$

$$\alpha_{fl} = \text{värmeövergångstalet på flänsens utsida}$$

$$k_z = \text{faktor som tar hänsyn till antal flänsrader i djupled i elementet}$$

$$C_\alpha = \text{faktor som anger ökningen av } \alpha\text{-fläns på grund av närvaron av rören. Detta kan uppfattas som inverkan av en konstgjord ytråhet. } C_\alpha \text{ beror såväl av rörarrangemang som av } Re.$$

$$\alpha_{sp} = \text{värmeövergångstalet för en spalt motsvarande aktuella flänsar men utan rör}$$

$$Re = \text{Reynolds tal} = w_s \cdot \rho \cdot d_e / \mu$$

$$w_s = \text{luftens strömningshastighet i flänsspalt}$$

$$\rho = \text{luftens densitet}$$

$$\mu = \text{luftens dynamiska viskositet } \text{Ns/m}^2 \cdot *$$

$$\lambda = \text{värmeledningstalet för luften vid filmtemperaturen} = (t_{\text{luft,m}} + t_{\text{fläns,m}}) / 2. \text{ Både } \mu \text{ och } \lambda \text{ är tryckoberoende om luft anses som ideal gas.}$$

$$z = \text{antal flänsrader i djupled}$$

$$k_{Re} = \text{faktor som beror av Reynolds tal}$$

$$k_A = \text{faktor som beror av ytförhållandet } A_{ry} / A_{fl}$$

$$k_{Zr} = \text{faktor som beror av antalet rörrader i djupled på en sammanhängande fläns}$$

$$Nu = \text{Nusselts tal} = \alpha_{fl} \cdot d_e / \lambda$$

* (I programmet har samband inlagts som återger resultatet av kurvanpassning till tabellvärden.)

d_c = hydraulisk diameter. Enligt definition i [1] vald att gälla för spalten mellan två flänsar utan hänsyn till närvaron av rör. Med $d_c = 4 \cdot A/U$ där A = kanalens tvärsnittsarea och U = kanalens vätta omkrets blir för en spalt med tvärsnittet $s \cdot b$ (s = flänsavståndet):
 $d_c = 2 \cdot s \cdot b / (s+b)$ Om spalten är bred ($b \gg s$) blir $d_c \approx 2s$

Sambanden avser driftförhållanden utan diffusion av fukt till ytan. Mellan luftens vattenånginnehåll, x_L , och vattenångans partialtryck i luften, p_L , gäller sambandet:

$$x_L = 0.622 \cdot \frac{p_L}{p_t + p_L} = 0.622 \cdot \frac{RF \cdot p_t}{RF \cdot p_t + p_L}$$

där p_t är luftens totaltryck, dvs summan av den torra luftens och vattenångans partialtryck. Då $p_L \ll p_t$, vid här aktuella lufttillstånd, kan sambandet förenklas till:

$$x_L \approx 0.622 \cdot \frac{p_L}{p_t}$$

Vattenångans mättningstryck, p'' , erhålls ur ångtabeller, t_p -diagram eller som här med hjälp av kurvanpassade samband vilka förekommer i litteraturen.

Enligt [10] kan p'' vid temperaturer under 0°C , dvs över is, sättas till: (T_L =lufttemperaturen i K; p'' i Pa)

$$p''(t < 0^\circ\text{C}) = e^{[28.87 - 6233.9/T_L]}$$

För temperaturer över 0°C gäller:

$$p''(t > 0^\circ\text{C}) = \frac{e^{[77.345 + 0.0057 \cdot T_L - 7235/T_L]}}{T_L^{8.2}}$$

Vattenångans koncentration i luften invid flänsytan, x''_y , kan då uttryckas som:

$$x''_y(t > 0^\circ\text{C}) \approx 0.622 \cdot 10^{-5} \cdot p''(t > 0^\circ\text{C})$$

Vid vätskenedslag på ytan frigörs vattnets ångbildningsvärme, samt vid ytemperaturer under 0°C dessutom smältvärmes, med en ytemperaturhöjande effekt som följd. Detta kan enligt [2] uppfattas som en höjning av värmeövergångstalet med en faktor α_d . Värmeövergångstalet α sammansätts då av:

$$\alpha_{\text{tot}} = \alpha_{\text{fl}} + \alpha_d$$

där α_d definieras som:

$$\alpha_d = C \cdot \alpha_{f1} \cdot \frac{(p_L - p''_y)}{(t_L - t''_y)}$$

α_d = diffusionsvärmeövergångstalet

C = 0.0153 vid en yta med temperatur över 0 oC

C = 0.0175 " " " " " " under "

p_L = vattenångans partialtryck i luften (Pa)

p''_y = vattenångans mättningsstryck vid ytans temperatur (Pa)

t_L = luftens temperatur

t''_y = ytans temperatur

För närvarande beräknar programmet α_d endast i fallet kyl- eller värmebatteri i ett medelsnitt i djupled med resultatet angivet på formen α_d/α_{f1} . Vid djupare element bör indelning ske i flera snitt i djupled för högsta möjliga noggrannhet. I föreliggande version av programmet finns inte rutin härför utvecklad men körningar kan dock genomföras redan nu genom uppdelning av batteriet i flera delar i djupled. För de övriga tillämpningarna kan α_d/α_{f1} beräknas för hand eller ges ett värde utifrån erfarenhetsdata. I bilaga 3 redovisas ett nomogram för beräkning av den våta lastens bidrag α_d . Nomogramet har hämtats ur [4].

3.3.3 Flänsverkningsgraden ξ

Vid flänsade ytor fås, till följd av värmeövergången från fläns till luft och värmeledningsmotståndet i flänsmaterialet, en ojämn temperaturfördelning i flänsen. Genom detta blir temperaturdifferensen mellan tex flänstoppen och luften lägre än den mellan flänsroten och luften. Inför man flänsverkningsgraden ξ som definieras:

$$\xi = \frac{\vartheta_{mf}}{\vartheta_{rot}}$$

där

ϑ_{mf} = medeltemperaturdifferensen mellan fläns och omgivning

ϑ_{rot} = temperaturdifferensen mellan grundyta och omgivning

Ekvationer för närmevärdesberäkning av ξ anges av [3] till:

$$\xi = 1/Z \cdot \tanh Z$$

där för raka flänsar: $Z = \kappa \cdot L$

runda flänsar: $Z = \kappa \cdot r_0 \cdot \varphi$ (på rör)

med

$$\kappa = \left[\frac{2 \cdot \alpha}{\lambda \cdot \delta} \right]^{0.5}$$

L = flänslängden, avståndet från flänsroten till flänstoppen

r_0 = inre flänsradien, rörets ytterdiameter

φ = korrektionsfaktor (= 1 vid raka flänsar)

δ = "verksam" flänstjocklek

λ = flänsmaterialets värmeledningstal

α = värmeövergångstalet vid flänsytan

För raka flänsar är flänslängden lika med flänshöjden. För övriga flänsar (runda, rektangulära, sexsidiga etc) gäller att flänslängden är:

$$L = r \cdot (\rho - 1)$$

där för runda flänsar : $\rho = R/r$

Sambanden kan även användas vid rektangulära eller sexkantiga flänsar genom att använda närmevärden enligt följande:

$$\text{rekt. flänsar} : \rho \cong 1.28 \cdot R/r [H/R - 2]^{0.5}$$

$$\text{sexsidiga} : \rho \cong 1.27 \cdot R/r [H/R - 3]^{0.5}$$

H , R och r ges av flänsgeometrin och betydelsen av dessa framgår av bilaga 2.

Programmet räknar för närvarande ut flänsverkningsgraden för rektangulära och sexsidiga flänsar, vilka är de tekniskt mest frekventa typerna. Korrektionsfaktorn φ beräknas för runda, rektangulära och sexkantiga flänsar enligt [4] enligt

$$\varphi = (\rho - 1) (1 + 0.35 \ln(\rho))$$

Flänsverkningsgraden kan också enkelt beräknas med det nomogram som utarbetats av tex [3] eller [4] (kopia av nomogram i [3] återges i bilaga 2).

3.3.4 Värmeövergångstalet på rörens insida, α_i .

3.3.4.1 Värmeövergångstalet vid påtryckt rörströmning.

Värmeövergångstalet vid turbulent rörströmning ($Re \approx 10000$) anges av [3] till:

$$Nu = 0.023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4}$$

med

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda_b}$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu_b} = \frac{M/A \cdot d}{\nu_b}$$

$$Pr = \left[\frac{\mu \cdot c_p}{\lambda} \right]_b$$

α = värmeövergångstalet

d = rördiametern

λ = värmeledningstalet

w = mediehastigheten

μ = mediets dynamiska viskositet

ν = μ/ρ = mediets kinematiska viskositet

c_p = mediets specifika värmekapacitet

ρ = mediets densitet

M = massflödet hos mediet

Index b anger att ämneskonstanterna för mediet skall bestämmas vid blandningstemperaturen. Med blandningstemperaturen avses den temperatur som fås om varmt (eller kylt) medium, i något bestämt tvärsnitt, avtappas och omblandas. För medier med viskositet $\mu < 2 \cdot \mu_{H_2O}$ anges i [3] sambandet gälla från $Re \approx 2300$ och uppåt. För medier med hög och/eller, i ett rörsnitt, varierande viskositet (på grund av varierande temperatur) anges något förändrade samband där hänsyn tas till detta. Dessa samband finns dock ej i programmet.

3.3.4.2 Värmeövergångstalet vid fullständig förångning.

Värmeövergångstalet på köldmediesidan vid fullständig förångning, α_{kok} , utan hänsyn till köldmediets strömningsmotstånd anges av [5A] till:

$$\alpha_{\text{kok}} = \frac{\dot{q}}{[\Delta t]_{\text{kok}}}$$

med

$$[\Delta t]_{\text{kok}} = 33 \cdot \left[\frac{\mu' \cdot 0.8}{\lambda'} \right] \cdot \left[\frac{g \cdot \Delta i}{L} \right]^{0.40}$$

$[\Delta t]_{\text{kok}}$ = temperaturdifferensen på köldmediesidan

μ' = köldmedievätskans dynamiska viskositet

λ' = " värmeledningstal

d = förångarrörets diameter

g = tyngdaccelerationen 9.81 m/s²

Δi = entalpiändringen vid förångningen

L = förångarrörets längd

\dot{q} = ytbelastningen

Ämneskonstanter avseende värmeledningstal och viskositet för köldmedierna i flytande tillstånd är hämtade ur samma referens och finns även återgivna i diagramform i bilaga 3.

Emellertid påverkas värmeövergångstalet också av strömningsmotståndet hos köldmediet. Strömningsmotståndet vid kokande köldmedier har bla undersökts av Pierre [5B]. Med utgångspunkt härifrån finns i [8] följande samband för Δp_2 :

$$\Delta p_2 = \frac{78.4 \cdot F \cdot v'' \cdot \dot{q}'^2 \cdot L^2 \cdot 5}{r^2 \cdot \Delta x^{1.5} \cdot d^{2.75}}$$

där

$$F = f_m + \left[\frac{\Delta x}{x_m} + n \cdot \frac{\xi \cdot t_m}{2} \right] \frac{d}{L} =$$

= total friktionsfaktor, där de olika termerna representerar friktionsfaktorn för rörsströmningen samt bidragen från accelerationstryckfallet och tryckfallet vid rörböjar, se även förklaring i pkt 3.2.

v'' = specifik volym för mättad köldmedieånga

r = köldmediets ångbildningsvärme

Δx = ändring av specifik ångmängd

Tryckfallet Δp_2 svarar mot en temperaturändring Δt_2

$$\Delta t_2 = \Delta p_2 \cdot \left(\frac{\delta t}{\delta p} \right)''$$

där

$$\left(\frac{\delta t}{\delta p} \right)'' = \frac{T}{r} \cdot (v'' - v') \quad (\text{enl Clapeyrons ekv})$$

Den totala temperaturdifferensen baserat på mättnadstemperaturen, svarande mot trycket vid förångarrörets utlopp, är:

$$[\Delta t]_{\text{sug}} = [\Delta t]_{\text{kok}} + y \cdot \Delta t_2$$

där enligt ref [8] $y \approx 0.6$

Värmeövergångstalet på köldmediesidan blir slutligen, om det hänförs till trycket vid förångarutloppet:

$$\alpha_{\text{sug}} = \frac{\dot{q}}{[\Delta t]_{\text{sug}}}$$

3.3.4.3 Värmeövergångstalet vid ofullständig förångning

Värmeövergångstalet på köldmediesidan vid ofullständig förångning ges av [5]:

$$\alpha_{\text{kok}} = \frac{\dot{q}}{\Delta t}$$

med

$$\Delta t = 230 \cdot \left[\frac{\mu'}{\lambda'} \right] \cdot \left[\frac{g \cdot \Delta i}{L} \right]^{0.50}$$

$$\Delta i = r/N$$

$$r = \text{ångbildningsvärmets för köldmediet} = i'' - i'$$

$$N = \text{cirkulationstalet}$$

Beräkningar kan f.n. göras för fallet termosifoncirkulation där cirkulationstalet bestäms av förångargeometri och ytbelastning. Cirkulationstalet beräknas av programmet.

Tryckfallet beräknas analogt som vid fullständig förångning (dock med $\Delta i = r/N$). Vidare är enligt [8] faktorn $y \approx 0.5$.

3.4 Exempel på programkörning.

I detta exempel har valts ett driftfall med förångardrift och fullständig förångning på insidan. Vid datorberäkningen av detta fall har skrivaren varit påkopplad under hela körningen. Redovisningen programmets dialog med användaren är därför i allt väsentligt komplett återgiven.

Programmets första fråga till användare är:

VILL DU HA PROGRAMINFORMATION ? (J/N)? J

Om så önskas trycker man J varpå programmet i sin nuvarande tappning svarar:

DETTA PROGRAM BERÄKNAR PRESTANDA FÖR ETT FLÄNSELEMENT.
PROGRAMMET KLARAR ELEMENT MED PATRYCKT STRÖMNING SAMT
OFULLSTÄNDIG ELLER FULLSTÄNDIG FÖRÅNGNING PÅ INSIDAN.

DATA TILLFÖRS PROGRAMMET GENOM ATT EN RAD FRÅGOR STÄLLS
TILL ANVÄNDAREN UNDER KÖRNING. EFTER AVSLUTAD BERÄKNING
PRESENTERAS SÄVAL IN- SOM UTDATA OCH FÖRNYAD KÖRNING KAN
SEDAN SKE ANTINGEN MED HELT NYA DATA ELLER MED BARA
ENSTAKA DATA FÖRÄNDRADE.

PROGRAMMET FÖRDRAR I SIN NUVARANDE FORM STORA BOKSTÄVER
NÄR DU TILLFÖR SÅDANA!

För att i efterhand kunna identifiera de programkörningar som gjorts efterfrågar programmet:

DAGENS DATUM.....88.09.08
ELEMENTETS BETECKNING.....THERMIA
ÖVRIGT, TYP ETC.....STANDARD

Dessa uppgifter redovisas sedan också i resultatutskriften. Om man vid förnyad körning med ändrade indata ändrar sådana villkor, tex geometrier, att man också förändrar elementtyp finns naturligtvis möjligheten att gå in och ändra elementets beteckning eller typ.

Ett efter ett efterfrågas sedan geometriska data samt vissa grunddata i ett dialogförfarande där man för varje fråga som ställs matar in de aktuella uppgifterna.

RÖRDIMENSIONER:

INRE DIAMETER, Di (MM).....:7.74
 YTTRE DIAMETER, Dy (MM).....:9.52
 FLÄNSDIMENSION - TVÄRS LUFTRIKTNING (MM).....:35
 FLÄNSDIMENSION - LÅNGS LUFTRIKTNING (MM).....:35
 FORM: RAK/SEKKANTIG (R/S).....:R
 FLÄNSDELNING, (MM).....:4.81
 FLÄNSTJOCKLEK, (MM).....:1.25
 ALUMINIUMFLÄNSAR (J/N).....:J
 ANTAL RÖR PER FLÄNS I DJUPLAD, Zr.....:6
 ANTAL FLÄNSRADER I DJUPLAD, Z.....:1
 ANTAL SLINGOR I ELEMENTET.....:6
 LÅNGD PER SLINGA, Ls (M).....:13

VÄRMEMOTSTAND I RÖRVAGG + BELÄGGNING:

ANGE MOTSVARANDE VÄRMEÖVERGANGSTAL (W/M²oC).....:10000

I allmänhet har här programmet ingen möjlighet att avgöra om uppgivna data är rimliga. Endast i några fall finns villkor som omöjliggör vissa indata.

Med jämna mellanrum kommer följande fråga upp på skärmen.

KORREKTA DATA? (J/N)J

Denna fråga ställs för att man om möjligt skall kunna korrigera inmatade data. Då indata från tidigare frågor i allmänhet finns kvar på skärmen ett ögonblick kan man tex observera en felslagning som annars skulle äventyra datorberäkningarna. Genom att besvara denna fråga med N går datorn tillbaka till den första frågan som ställdes angående elementet och börjar om där. Denna fråga, om inmatade data är korrekta, återkommer med jämna mellanrum under datorkörningen. Skulle man besvara en fråga längre fram i programmet med N går datorn tillbaka till den position då frågan sist ställdes.

Därefter önskas uppgifter om luftens tillstånd.

LUFT-TEMPERATUR IN, (oC).....: -5
 LUFTHASTIGHET, WFRONT, (M/S).....: 1.7

ANGE OM DU HAR VÄT BELASTNING PÅ FLÄNSYTAN, (J/N).....: N

Vi har nu klarat av de yttre förhållandena. Vad som gäller för insidan av elementet efterfrågas genom:

VILLKA FÖRHÅLLANDEN RADER PÅ FÖRANGARELEMENTETS INSIDA?

PATRYCKT STRÖMNING.....(P)?
OFULLSTÄNDIG FÖRANGNING.....(OF)?
FULLSTÄNDIG FÖRANGNING.....(FF)?

ANGE ÖNSKAD PARAMETER OCH TRYCK PÅ RETURN.....: ? FF

Om man som i vårt fall har fullständig förångning på insidan efterfrågas:

KÖLDMEDIUM R22, R12, R502, NH3 ? (22,12,502,717)

DATA FÖR OVANNÄMNDÄ KÖLDMEDIER FINNS I PROGRAMMET
VID ANNAT KÖLDMEDIUM MÅSTE KÖLDMEDIEDATA SPECIFICERAS

ANGE KÖLDMEDIENUMMER OCH TRYCK PÅ RETURN? 502

Samt vissa övriga data såsom:

ANGE TOTAL KYLEFFEKT, Q2 (KW).....:4
ANGHÅLT IN, X-IN.....:35
FRIKTIONSFAKTOR F.....:025

Programmet påbörjar sedan sin beräkning. De ekvationer som programmet arbetar med gäller under vissa givna villkor. Om man med de indata man angett, tex geometriska, kommer utanför giltigheten för dessa ekvationer varnar programmet för detta genom en utskrift av typen:

VARNING! GEOMETRI UTANFÖR GILTIGHETSDOMRADE FÖR EKVATIONER ($3 < Lf/dh < 20$) VID BERÄKNING AV FLANSALFA. $Lf/dh = 23.02632$

men fortsätter ändå beräkningen. I utskriften ser vi att programmet dels anger det villkor som gäller för ekvationen ifråga dels det värde som vi har i det aktuella fallet.

Första gången som programmet körs ställs ett antal frågor för att användaren skall få kännedom om de möjligheter som programmet ger. En sådan fråga är:

VILL DU VETA HUR DU KAN PÅVERKA RESULTATUTSKRIFTEN ? (J/N)? J
FÖRSTA GÅNGEN SOM PROGRAMMET KÖRS FÅR DU ALLA
IN- OCH UTDATA PRESENTERADE I UTSKRIFTEN.

VID EN EVENTUELL FÖRNYAD KÖRNING HAR DU SEDAN MÖJLIGHET ATT
PÅVERKA RESULTATUTSKRIFTENS INNEHÅLL GENOM ATT BESVARA DE FRÅGOR
SOM PROGRAMMET STÄLLER.

Därefter är det så dags för resultatutskriften. Efter att ha tryckt return läser vi:

```

=====
* RESULTAT *****
=====

DAGENS DATUM.....: 88.09.08
ELEMENTETS BETECKNING....: THERMIA
ÖVRIGT, TYP ETC.....: STANDARD

INDATA:
=====
RÖRDIMENSIONER FÖRÅNGARSLINGOR Di / Dy .....: 7.74 / 9.520001
MM
FLÄNSDIMENSIONER TVÄRS/LÅNGS LUFTRIKTNING.....: 35 / 35 MM
FORM, RAK/SEKKANTIG R/S .....: R
FLÄNSDELNING.....: 4.81 MM
FLÄNSTJÖCKLEK.....: .25 MM
ALUMINIUMFLÄNSAR (J/N) .....: J
ANTAL RÖR PER FLÄNS I DJUPLAD.....: 6
ANTAL FLÄNSRADER I DJUPLAD.....: 1
ANTAL SLINGOR I ELEMENTET.....: 6
LÅNGD PER SLINGA.....: 13 M
VÄRMOTSTAND I RÖRVÄGG + BELÄGGNING:
MOTSVARANDE VÄRMEÖVERGANGSTAL.....: 10000 W/(M2*oC)
LUFTEMPERATUR, IN.....: -5 oC
LUFTHASTIGHET.....: 1.7 M/S
VATTENHÅLT I INGÅENDE LUF.....: 0
KG VATTEN/KG LUF
TOTAL KYLEFFEKT Q2.....: 4 kW
KÖLDMEDIUM.....: R502
KÖLDMEDIETS ÅNGHÅLT VID FÖRÅNGARINLOPPET.....: .35

UTDATA:
=====
YTÖR PER M FLÄNSAT RÖR (M2/M): Ai = 2.431593E-02 Ary = .0283535
Afi = .4797585 Ay tot = .508112
ELEMENT-YTÖR TOTALT (M2): Ai tot = 1.896642 Ary tot = 2.211573
Afi tot = 37.42116 Ay tot = 39.63273
VID FRONTHASTIGHETEN = 1.7 M/S BLIR ALFA F.....: 24.91 W/(M2*oC)
VÄT BELASTNING, ALFAD/ALFAW.....: 0
FLÄNSVERKNINGSSGRAD.....: .861008
TRYCKFALL PÅ LUFTSIDAN, TOTALT.....: 19.55494 Pa
ALFAKOK (W/M2*oC).....: 1051.154
ALFASUG (W/M2*oC).....: 797.9772
KÖKTRYCKFALL, VARAV 60 % FÖRLORAS .....: 1.060938 oC
TOTALT FÖR HELA ELEMENTET ÅR K*Å .....: 532.0905 W/oC
HÅNFÖRT TILL TOTAL YTA PÅ LUFTSIDAN ÅR K.....: 13.42553
W/(M2*oC)
FÖRÅNGNINGSTEMPERATUR.....: -14.66352 oC
MEDELTEMPERATURDIFFERENSEN TETAM.....: 7.517519 oC
INLOPPSDIFFERENSEN BLIR DA TETAIN .....: 9.648452 oC
UTLOPPSDIFFERENSEN .....: 5.72613 oC
=====

```


Om man tex missat något och vill frysa skärmen i något läge eller om man vill skriva ut hela resultatutskriften på skrivaren har man denna möjlighet genom nästa fråga.

VILL DU SE RESULTATUTSKRIFTEN ANNU EN GANG (J/N)?? N

Är man då nöjd här och vill fortsätta i sina beräkningar med ändrade indata besvarar man följande fråga med J.

VILL DU FORTSÄTTA MED NYTT FALL ? (J/N)? J

I programmet är indata uppdelade i följande tre huvudgrupper samt en allmän fråga övrigt.

VAD VILL DU VARIERA?

ELEMENTETS GEOMETRI.....(GEO)?
 DRIFTDATA PÅ LUFTSIDAN.....(DRLU)?
 DRIFTDATA PÅ INSIDAN.....(DRINS)?
 ÖVRIGT, TEX ELEMENTBETECKNING.....(OVR)?

ANGE PARAMETER OCH TRYCK PÅ RETURN? DRINS

Om man tex önskar variera driftdata på insidan besvarar man frågan med parametern för detta varpå nästa fråga lyder:

VILKA PARAMETRAR VILL DU VARIERA?

TOTAL KYLEFFEKT.....(Q2)?
 FÖRÄNGNINGSTEMPERATUR.....(T2)?
 ÅNGHALT IN.....(XIN)?
 FRIKTIONSFAKTOR.....(F)?
 KÖLDMEDIUM.....(R)?

Eftersom vi önskar ändra indata i fråga om kyleffekten besvarar vi frågan med Q2 och anger ett nytt värde på denna:

ANGE PARAMETER OCH TRYCK PÅ RETURN? Q2
 ANGE TOTAL KYLEFFEKT, Q2 (KW).....:6

Vi har nu gjort en ändring i indata men kanske vill fortsätta med ytterligare ändringar vilket möjliggörs genom frågan:

VILL DU VARIERA YTTERLIGARE NÅGOT? (J/N)? N

Efter att ha besvarat frågan med J upprepas förfarandet vilket beskrivits ovan till dess att alla indata ändrats på önskat sätt. Då alla önskade ändringar gjorts besvaras frågan om ytterligare ändringar med N varpå en ny resultatutskrift följer.

```
=====
* RESULTAT *****
=====

DAGENS DATUM.....: 88.09.08
ELEMENTETS BETECKNING....: THERMIA
ÖVRIGT, TYP ETC.....: STANDARD

INDATA:
=====
RÖRDIMENSIONER FÖRANGARSLINGOR Di / Dy .....: 7.74 / 9.520001
MM
FLÄNSDIMENSIONER TVARS/LANGS LUFTRIKTNING.....: 35 / 35 MM
FORM, RAK/SEKANTIG R/S .....: R
FLÄNSDELNING.....: 4.81 MM
FLÄNSJOCKLEK.....: .25 MM
ALUMINIUMFLÄNSAR (J/N) .....: J
ANTAL RÖR PER FLÄNS I DJUPLAD.....: 6
ANTAL FLÄNSRADER I DJUPLAD.....: 1
ANTAL SLINGOR I ELEMENTET.....: 6
LÄNGD PER SLINGA.....: 13 M
VÄRMOTSTAND I RÖRVAGG + BELÄGGNING:
MOTSVARANDE VÄRMEÖVERGANGSTAL.....: 10000 W/(M2*oC)
LUFTEMPERATUR, IN.....: 7 oC
LUFTHASTIGHET .....: 1.7 M/S
VATTENHALT I INGAENDE LUF.....: 0
KG VATTEN/KG LUF
TOTAL KYLEFFEKT Q2.....: 6 kW
KÖLDMEDIUM.....: R502
KÖLDMEDIETS ANGHALT VID FÖRANGARINLOPPET.....: .35
FRIKTIONSFAKTOR.....: .025

UTDATA:
=====
YTOR PER M FLÄNSAT RÖR (M2/M): Ai = 2.431593E-02 Ary = .0283535
Af1 = .4797585 Ay tot = .508112
ELEMENT-YTOR TOTALT (M2): Ai tot = 1.896642 Ary tot = 2.211573
Af1 tot = 37.42116 Ay tot = 39.63273
VID FRONTHASTIGHETEN = 1.7 M/S BLIR ALFA F.....: 24.66 W/(M2*oC)
VAT BELASTNING, ALFAD/ALFAK.....: 0
FLÄNSVERKNINGSGRAD.....: .8621732
TRYCKFALL PÅ LUFTSIDAN, TOTALT.....: 19.00251 Pa
ALFAKOK (W/M2*oC).....: 1516.145
ALFASUG (W/M2*oC).....: 1039.494
KOKTRYCKFALL, VARAV 60 % FÖRLORAS .....: 1.594603 oC
TOTALT FÖR HELA ELEMENTET ÄR K*Δ .....: 575.972 W/oC
HANFÖRT TILL TOTAL YTA PÅ LUFTSIDAN ÄR K.....: 14.53274
W/(M2*oC)
FÖRÄNGNINGSTEMPERATUR.....: -6.781149 oC
MEDELTEMPERATURDIFFERENSEN TETAM.....: 10.41717 oC
INLOPPSDIFFERENSEN BLIR DA TETAIN .....: 13.79108 oC
UTLOPPSDIFFERENSEN .....: 7.64429 oC
=====
```

Om vi önskar förändra resultatutskriften, vi kanske tycker att den innehåller för oss onödig information, besvaras med J följande fråga:

VILL DU ÄNDRA NAGOT I RESULTATUTSKRIFTEN ? (J/N):? J

Programmet går då igenom alla in- och utdata som behandlats i det aktuella fallet och frågar om vi önskar ha dessa med i resultatutskriften. I vårt nuvarande exempel är dessa:

VILL DU ATT RESULTATUTSKRIFTEN SKALL INNEHÅLLA

RÖRDIMENSIONER.....(J/N):?
 FLÄNSDIMENSIONER.....(J/N):?
 FORM, RAK/SEKKANT.....(J/N):?
 FLÄNSDELNING.....(J/N):?
 FLÄNSTJOCKLEK.....(J/N):?
 ALUMINIUMFLÄNSAR.....(J/N):?

KORREKTA DATA (J/N):? J

ANTAL RÖR PER FLÄNS I DJUPLAD.....(J/N):?
 ANTAL FLÄNSRADER I DJUPLAD.....(J/N):?
 ANTAL SLINGOR I ELEMENTET.....(J/N):?
 LÅNGD PER SLINGA.....(J/N):?
 VÄRMEMOTSTAND I RÖRVAGG + BELÄGGNING:
 MOTSVARANDE VÄRMEÖVERGANGSTAL.....(J/N):?

KORREKTA DATA (J/N):? J

LUFTTEMPERATUR.....(J/N):? J
 LUFTHASTIGHET.....(J/N):?
 VATTENHALT I INGANDE LUFT.....(J/N):?

KORREKTA DATA (J/N):? J

FÖRÄNGNINGSTEMPERATUR.T2.....(J/N):? J
 FÖRÄNGNINGSTRYCK.....(J/N):?
 KÖLDMEDIUM.....(J/N):?
 TOTAL KYLEFFEKT.....(J/N):? J
 KÖLDMEDIETS ANGHALT VID FÖRÄNGARINLOPPET.....(J/N):? J
 FRIKTIONSFAKTOR.....(J/N):?

KORREKTA DATA (J/N):? J

YTOR PER M FLÄNSAT RÖR.....(J/N):?
 ELEMENTYTOR TOTALT.....(J/N):?
 FLÄNSALFA.....(J/N):?
 FLÄNSVERKNINGSGRAD.....(J/N):?
 VÄT BELASTNING, ALFAD/ALFAKW.....(J/N):?
 TRYCKFALL PÅ LUFTSIDAN, TOTALT.....(J/N):?

KORREKTA DATA (J/N):? J

```

ALFAKOK, ALFASUG.....(J/N):?
KOKTRYCKFALL, DPKOKT.....(J/N):?
K*A-TOT OCH K.....(J/N):?
TETAM.....(J/N):?
TETAIN .....(J/N):? J
TETAUT.....(J/N):?

```

```
KORREKTA DATA (J/N):? J
```

När man gått igenom programmets alla frågor kommer så resultatutskriften precis så som man själv önskar ha den. I vårt exempel, med endast ett fåtal in- och utdata, lyder utskriften nu:

```

=====
* RESULTAT *****
=====

DAGENS DATUM.....: 88.09.08
ELEMENTETS BETECKNING....: THERMIA
ÖVRIGT, TYP ETC.....: STANDARD

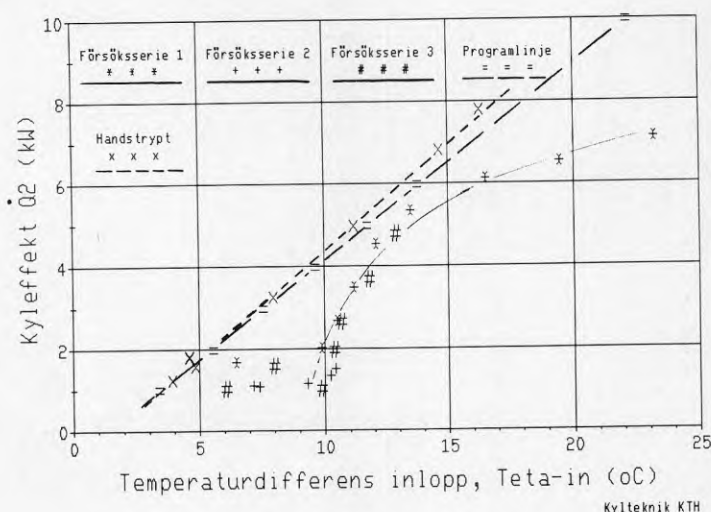
INDATA:
=====
TOTAL KYLEFFEKT Q2.....: 6 kW

UTDATA:
=====
TOTALT FÖR HELA ELEMENTET ÄR K*A .....: 575.972 W/oC
HÄNFÖRT TILL TOTAL YTA PÅ LUFTSIDAN ÄR K.....: 14.53274
W/(M2*oC)
FÖRÄNGNINGSTEMPERATUR.....: -6.781149 oC
INLOPPSDIFFERENSEN BLIR DA TETAIN .....: 13.79108 oC

```

4. JÄMFÖRELSE PROV - BERÄKNINGAR

I figur 4.1 nedan redovisas resultaten från proven med fläns-elementet i standardutförande, dels utrustat med expansionsventil dels med handstrykt ventil, samt resultatet från programmets beräkningar.



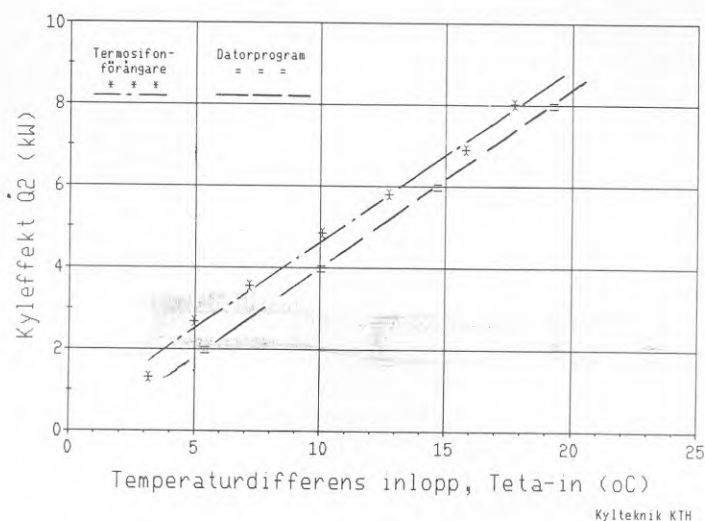
FIGUR 4.1 Kyleffekten \dot{Q}_2 som funktion av inloppsdifferensen $T_{\text{eta-in}}$ för fläns-elementet i standardutförande.

Programresultatet överensstämmer utmärkt väl med proven med handstrykt ventil för köldmedieflödets reglering.

Provresultaten från driftfallen med termostatisk expansionsventil ger en större temperaturdifferens än vad programmet förutsäger såväl vid högre som vid lägre kyleffekter.

Vid den lägre kyleffekten är orsaken här den större överhettning som expansionsventilen i verkligheten kräver. Vid högre kyleffekter synes den större avvikelsen bero på den MOP-funktion ventilen är utrustad med vilken strävar att begränsa den genomsläppta köldmediemängden vid högre förångningstemperaturer.

I figur 4.2 redovisas på motsvarande sätt resultaten från provet med det modifierade fläns-elementet samt programmens beräkningsresultat för driftfallet termosifoncirkulation.



FIGUR 4.2 Kyleffekten \dot{Q}_2 är som funktion av inlopps-differensen Θ_{in} för det modifierade fläns-elementet i driftfallet termosifoncirkulation.

Provresultatet ger ett något bättre \dot{Q}_2 än programmet beräknar.

Vid förångardrift med termosifoncirkulation har vi i vårt fall haft en drivhöjd på endast ca 0.23 m och därmed lågt cirkulationstal. Troligen är detta orsaken till att datorprogrammet ger ett beräkningsresultat som är ungefär samma som i fallet fullständig förångning. Provresultaten ger en blygsam förbättring jämfört med fallet med handstrykt ventil; jämför figur 4.2 och 4.1.

5. SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Laboratorieprov.

Undersökningen visar, vilket kanske var väntat, att den termostatiska expansionsventilen i vissa driftfall ger en mycket ofördelaktig drift av värmepumpen eller kylanläggningen

Expansionsventilens reglerfunktion medför i det provade fallet att överhettningen i många fall blir onödigt stor och i vissa fall helt avgörande för temperaturdifferensen i förångarenheten och därmed för värmepumpen som helhet. Pga stor temperaturdifferens får kompressorn arbeta med en låg förångningstemperatur. Värmepumpens värmefaktor och värmeavgivning sänks därigenom och behovet av tillsattsvärme ökar. Dessutom förkortas den årliga drifttid under vilken värmepumpen kan arbeta. Sammantaget gör detta att kostnaderna för driften ökar.

Laboratorieproven har visat att det för provad förångare är möjligt uppnå mindre temperaturdifferens genom att reducera överhettningen. I denna undersökning har följande två metoder provats.

- Köldmediematning med handreglerad strypventil.
- Köldmediematning med termosifoncirculation.

Vid den första modifieringen ersattes expansionsventilen med en handreglerad strypventil. Denna metod att reglera köldmediets tillströmning till förångaren är naturligtvis för det stora flertalet tillämpningar, tex villavärmepumpar, ej en realistisk lösning. Proven genomfördes för att påvisa vilken potential som finns om överhettningen kan reduceras. Med denna typ av köldmediematning kan överhettningen regleras till en godtyckligt låg nivå.

Vid den andra modifieringen byggdes förångarelementet om till köldmediematning med termosifoncirculation. Köldmediet cirkuleras genom termosifonverkan i ett kretslopp genom förångarslingorna till en vätskeavskiljare vilken monterats på elementet. Vid denna typ av köldmediematning blir köldmediet ej fullständigt förångat utan innehåller delvis oförångat freon. Detta oförångade köldmedium stannar i vätskeavskiljaren för att återcirkuleras i elementet medan det förångade mediet sugas av och går vidare till kompressorn. På detta sätt kommer kompressorn alltid att suga av köldmediegas av mättnadstemperatur, dvs överhettningen är noll eller nära noll.

Vid modifiering av förångarelementet till termosifoncirculation kan till största del de ovan nämnda negativa följderna av en alltför stor överhettning undvikas; dvs kostnaderna för driften sänks. Samtidigt ökar dock kostnaderna för denna nya köldmediematningsanordning. Likaså minskas risken för ojämn matning av köldmedium till olika slingor. Vid små förångarenheter brukar dock inte termosifoncirculation användas bl a pga den extra investering som fordras för att förse förångaren med vätskeavskiljare. Vilken inverkan detta får på totalekonomin för

en anläggning bestäms av den totala anläggningskostnaden och energibehovet för driften. En större anläggning kan här bekosta en mera avancerad teknisk lösning.

Datorprogram.

Som den andra deluppgiften i detta arbete har ett datorprogram utarbetats som, så långt resultaten kunnat kontrollerats, genererar rimliga utdata. Avsikten är att programmet skall kunna bli ett hjälpmedel för att simulera önskade driftfall och möjliggöra en utvärdering av nya elementgeometrier eller jämförelser av olika konstruktionsalternativ, mm.

De kontroller som gjorts är dels mot de laboratorieprov som utförts under provets gång, dels mot Svenska Fläkts datorprogram CP 01. I kap 4 jämförs de resultat som Institutionens program gett med de i laboratoriet uppmätta egenskaperna för det provade förångarelementet. Överensstämmelsen är rimligt god såväl i fallet konventionell drift med expansionsventil som i fallet drift med manuell strypventil resp termosifoncirculation. En jämförelse med CP 01, vilken redovisas i bilaga 1, visar att vi i fallet turbulent rörströmning med vatten på insidan har en god överensstämmelse mellan CP 01 och Institutionens program. I fallet förångardrift med fullständig förångning fås en något större avvikelse vilken ökar med elementets belastning. Eftersom förhållandena på luftsidan har varit lika i båda driftfallen, och därför beräknas på samma sätt, innebär det att det framför allt är på köldmediesidan som de två programmen ej överensstämmer.

Programmet är fortfarande föremål för utveckling och vi önskar dessutom göra ytterligare kontroller av beräkningsresultaten. Vi väljer därför att inte offentliggöra programlistan i nuläget. Avsikten är dock att programmet i framtiden skall finnas tillgängligt genom institutionens försorg.

För att ytterligare kontrollera programmet har vi försökt hitta dokumentation från tidigare utförda prover av flänsselement. Det har då visat sig vara svårt att hitta sådana undersökningar där samtliga elementdata och övriga provbetingelser fullständigt anges. Exakt vilka data som fordras för körning av programmet framgår av kapitel 2.2. Avslutningsvis vill vi därför passa på att efterlysa data för kontroll av programmet. Upplysningar om lämpliga undersökningar, egna eller andras, mottages därför tacksamt.

LITTERATUR

- [1] Granryd E: Värmeövergång och tryckfall vid påtryckt strömning genom fläselement, Kulde. Aug. 1965. (Även som bilaga i Kylteknik allmän kurs av B. Pierre, Institutionen för Mekanisk värmeteori och kylteknik, KTH, Stockholm.)
- [2] Bäckström M: Kylteknikern, Svenska Kyltekniska Föreningens handbok nr 1.
- [3] Pierre B: Mekanisk värmeteori fortsättningskurs del 1, Institutionen för Mekanisk värmeteori och kylteknik, KTH, Stockholm.
- [4] Granryd E: Mekanisk värmeteori allmän kurs del 3, Institutionen för Mekanisk värmeteori och kylteknik, KTH, Stockholm.
- [5A] Pierre B: Värmeövergång vid kokande köldmedier i horisontella rör. Kylteknisk Tidskrift nov 1959 (även som bilaga i Kylteknik allmän kurs).
- [5B] Pierre B: Strömningsmotstånd vid kokande köldmedier. Kylteknisk Tidskrift dec 1957 (även som bilaga i Kylteknik allmän kurs).
- [6] Kowalczewski J.J: Vapor slip in Two-Phase Fluid Flow. Artikel presenterad vid ASHRAE-möte i Houston, Texas, USA, 24-27 januari 1966.
- [7] Ekroth I.A: Köldmediedata, Svenska Kyltekniska Föreningens handbok nr 9.
- [8] Granryd E: Om val av seriekopplad rörlängd och tryckfall vid förångare med fullständig förångning. Särtryck i kylteknisk tidskrift aug 1966.
- [9] Granryd E: Överhettningens inverkan vid förångare. Föredrag vid XII Nordiska kylmötet i Stockholm, Augusti 1985.
- [10] Peterson F: Kompendium i Uppvärmnings- och ventilationsteknik del II:2, KTH, Stockholm.

BILAGA 1

JÄMFÖRELSE MELLAN SVENSKA FLÄKTS DATORPROGRAM
CPO1 OCH INSTITUTIONENS DATORPROGRAM.

Allmänt

I ett försök att kontrollera beräkningsresultatet hos Institutionens datorprogram har en jämförelse med Svenska Fläktfabrikens program CPO1 (dvs Fläkts katalogdata) gjorts. CPO1 beskriver prestanda hos Fläkts flänselement utifrån vissa givna indata som på ett relativt fritt men bestämt sätt kan väljas. Jämförelsen har gjorts för följande två fall:

- Värmeväxling mellan luft och vatten
- Värmeväxling mellan luft och köldmedium dvs förångardrift med fullständig förångning på insidan.

Värmeväxling luft - vatten.

Variabler: 3 batteridjup
3 flänsdelningar
3 lufthastigheter

Indata: Förångarrör d_i/d_y : 12.47/13.32 mm

Flänsdim. tvärs/längs 2H/2B: 33.33 / 33.33 mm

Flänsform: rektangulär

Flänsar, delning och tjocklek: $S=1.75$ $t=0.15$
 $S=2.5$ $t=0.15$
 $S=4$ $t=0.25$

Flänsmaterial: aluminium

Antal rör per fläns i djupled: 2, 4 resp 6

Antal slingor i elementet: därmed 3, 6 resp 9

Längden per slinga: 6.4 m

Värmemotstånd i rörvägg + beläggning;
motsvarande värmeöverg.tal: $10\,000\text{ W/(m}^2\text{°C)}$

Lufttemperatur in: 30°C

Fronthastigheten: 2.5, 1.9 resp 1.25 m/s

Vattenhalt i ingående luft X_{in} : 0

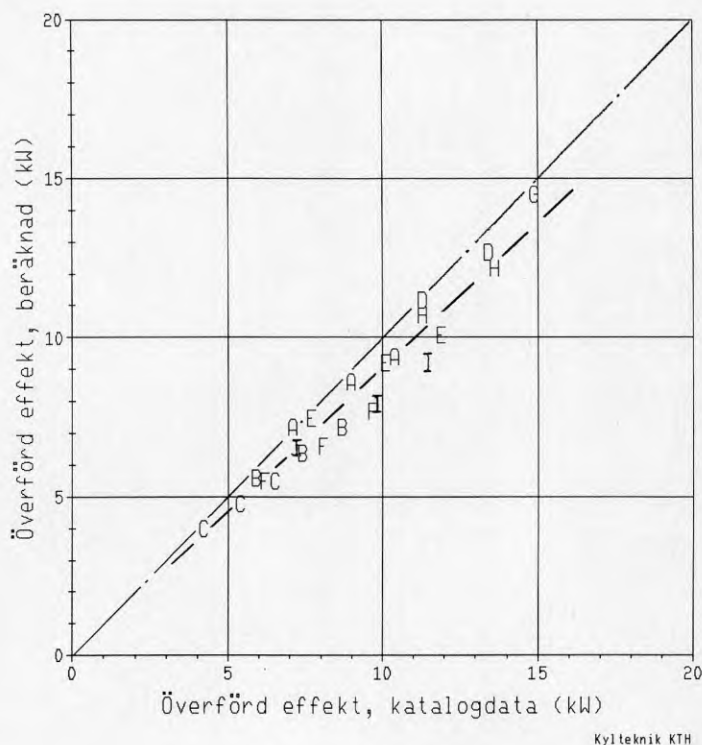
Strömn.hast.- insida: 1.4, 0.7 resp 0.5 m/s

Ämnesdata för vatten: ges av programmet

Batteriets frontyta: $0.8 \times 0.4 = 0.32 \text{ m}^2$

Medietemperatur in: 10°C

I figur I:1 visas resultatet från Institutionens datorberäkning som funktion av de av Svenska Fläkt angivna prestanda för driftfallet turbulent rörströmning med vatten på insidan.



FIGUR I:1 Överförd effekt beräknad av Institutionens program som funktion av dito beräknad av Svenska Fläktfabrikens datorprogram CP 01 (Fläkts katalogdata). Driftfallet är turbulent rörströmning med vatten på insidan. Använda beteckningar förklaras i tabell I:1.

Prestanda som beräknas av institutionens program ligger här konsekvent c:a 10 % under de data som anges av Sv. Fläkt för motsvarande element. Om dessa data är korrekta innebär det alltså, förutsatt att aktuellt element är väl beskrivet, att programmets beräkningsresultat relativt väl överensstämmer med verkliga data.

ELEMENT	FRONT HAST. m/s	VATTEN HAST. m/s	ANT RÖRR.	LAM. DELN. mm	EFFEKT ENL. SF kW	EFFEKT ENL. PROGR.	SYMBOL
QLNC-08-04-2-0-5-08-G	2,5 1,9 1,25	1,365 " "	2 " "	1,75 " "	10,4 9,0 7,1	9,4 8,6 7,2	A
-2-	2,5 1,9 1,25	" " "	" " "	2,5 " "	8,7 7,4 5,9	7,2 6,4 5,6	B
-4-	2,5 1,9 1,25	" " "	" " "	4 " "	6,5 5,4 4,2	5,5 4,8 4,0	C
-4-0-	2,5 1,9 1,25	0,68 " "	4 " "	1,75 " "	13,4 11,3 8,5	12,7 11,2 -	D
-2-	2,5 1,9 1,25	" " "	" " "	2,5 " "	11,9 10,1 7,7	10,1 9,2 7,5	E
-4-	2,5 1,9 1,25	" " "	" " "	4 " "	9,7 8,1 6,2	7,7 6,6 5,5	F
-6-0-	2,5 1,9 1,25	0,46 " "	6 " "	1,75 " "	14,8 12,3 9,0	14,5 - -	G
-2-	2,5 1,9 1,25	" " "	" " "	2,5 " "	13,6 11,3 8,4	12,2 10,7 -	H
-4-	2,5 1,9 1,25	" " "	" " "	4 " "	11,6 9,7 7,3	9,2 7,9 6,7	I

TABELL I:1

Värmeväxling luft - köldmedium.

Variabler: 2 batteridjup
3 köldmedier
3 kyleffekter

Indata: Geometri som i fallet luft - vatten förutom:

Flänsar, delning och tjocklek: $S=2.5$ $t=0.15$

Antal rör per fläns i djupled: 4 resp 8

Antal slingor i elementet: därmed 6 resp 12

Lufttemperatur in: 0°C

Fronthastighet: 2.5 m/s

Köldmedium: R12, R22 resp R502

Köldmediets anghalt efter expansionsventilen:
ur köldmediediagram.

Friktionsfaktor på köldmediesidan i förångar-
slingorna: antages 0.025

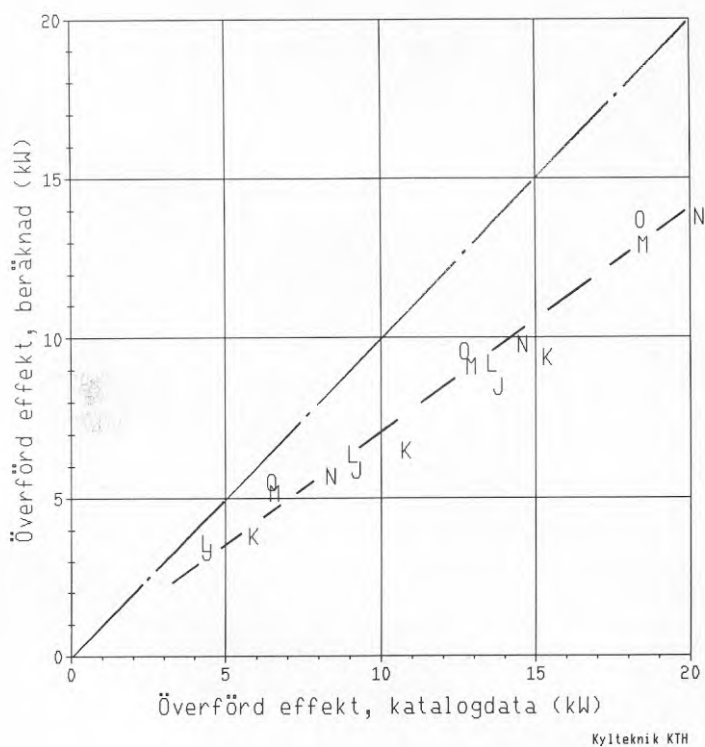
Kondenseringstemperatur: 35°C

I figur I:2 visas resultatet från Institutionens datorberäkning som funktion av de av Svenska Fläkt angivna prestanda för driftfallet fullständig förångning.

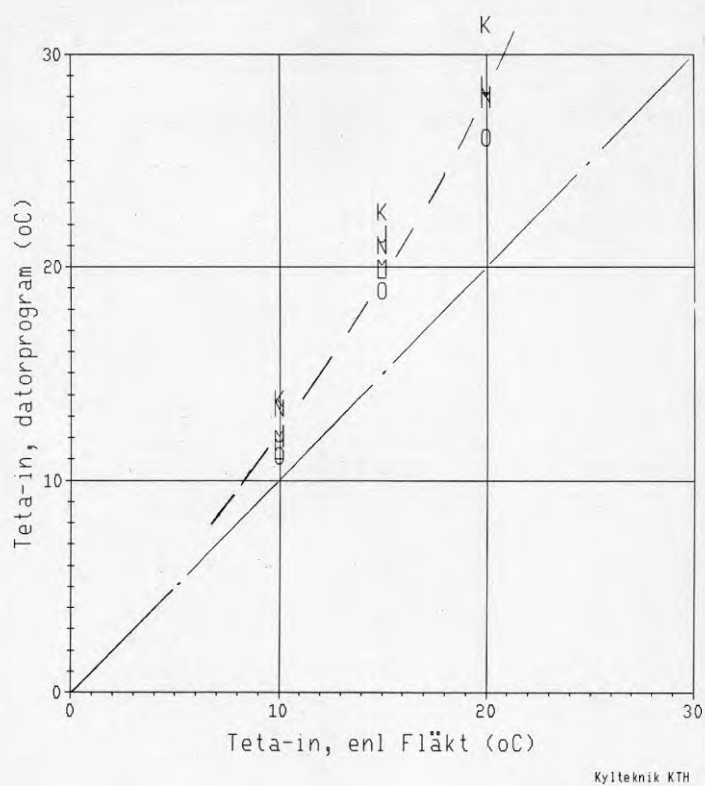
Beräkningsresultatet ligger också här under de prestanda som anges av Sv. Fläkt men med den skillnaden att avvikelsen är större och dessutom ökar med elementets belastning. Eftersom förhållandena varit lika på luftsidan i fallen turbulent rörströmning och fullständig förångning innebär detta att värmeövergången också beräknats lika för båda fallen. Detta innebär att det framför allt är på köldmediesidan som programmen ej överensstämmer.

Om de av Svenska Fläkt angivna kyleffekterna tas ut beräknar vårt program lägre erforderliga förångningstemperaturer, dvs större temperaturdifferenser erfordras. Innan försök till förklaring av detta görs bör ytterligare jämförelser med andra laboratorieprov göras.

De temperaturdifferenser som enligt Institutionens program fordras för att uppnå de av Sv. Fläkt angivna kyleffekterna visas i figur I:3.



FIGUR I:2 Överförd effekt beräknad av Institutionens program som funktion av dito beräknad av Svenska Fläktfabrikens datorprogram CP 01 (Fläkts katalogdata). Driftfallet är fullständig förångning. Använda beteckningar förklaras i tabell I:2.



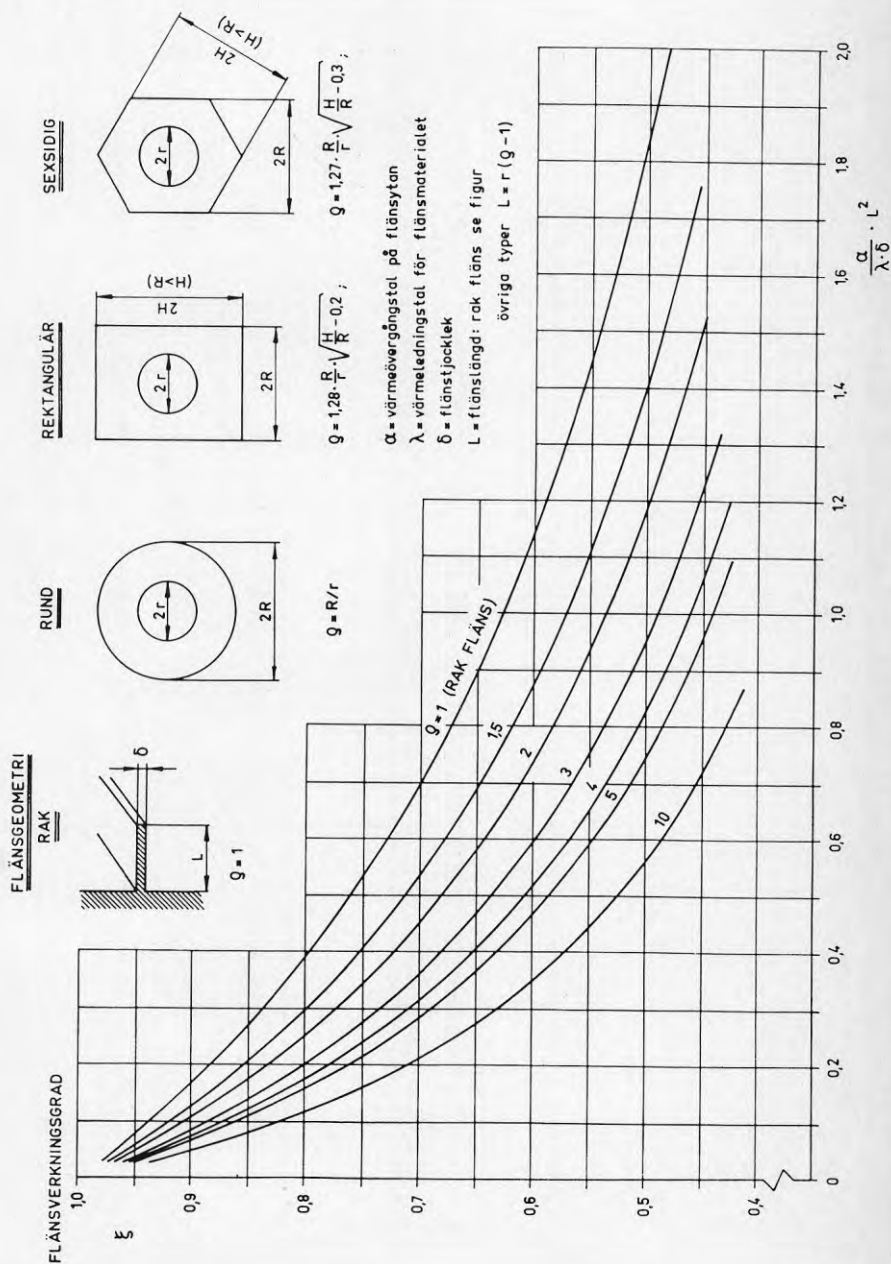
FIGUR I:3 Temperaturdifferenser som enligt Institutionens program erfordras för att uppnå de av Sv. Fläkt angivna kyleffekterna.

ELEMENT	KÖLDM.	ÅNGHALT x _{in} *)	FÖRÅNGN. TEMP.		ANT. RÖRR.	EFFEKT ENL. SF	EFFEKT ENL. PROGR.	SYMBOL	
		°C	°C	t _{2p} *) °C		kW	kW		
QLPC-08-04-4-2-5-08-G	R12	0,25	-10	-12,2	4	4,4	3,3	I	
	"	0,27	-15	-21,6	"	9,2	5,9		
	"	0,30	-20	-33,9	"	13,8	8,5		
	R22	0,22	-10	-13,8	"	5,9	3,8	K	
	"	0,25	-15	-22,6	"	10,8	6,5		
	"	0,27	-20	-31,4	"	15,4	9,4		
	R502	0,30	-10	-11,4	"	4,4	3,6	L	
	"	0,33	-15	-19,9	"	9,1	6,4		
	"	0,35	-20	-28,6	"	13,6	9,2		
	-8-	R12	0,25	-10	-12,0	8	6,6	5,1	M
	"	0,27	-15	-20,0	"	12,9	9,1		
	"	0,30	-20	-27,9	"	18,5	12,9		
		R22	0,22	-10	-13,4	"	8,4	5,7	N
	"	0,25	-15	-21,0	"	14,6	9,8		
	"	0,27	-20	-28,1	"	20,3	13,8		
		R502	0,30	-10	-11,2	"	6,5	5,5	O
	"	0,33	-15	-18,9	"	12,7	9,6		
	"	0,35	-20	-26,1	"	18,4	13,7		

*) . x_{in} betecknar köldmediets ånghalt vid förångarinloppet.

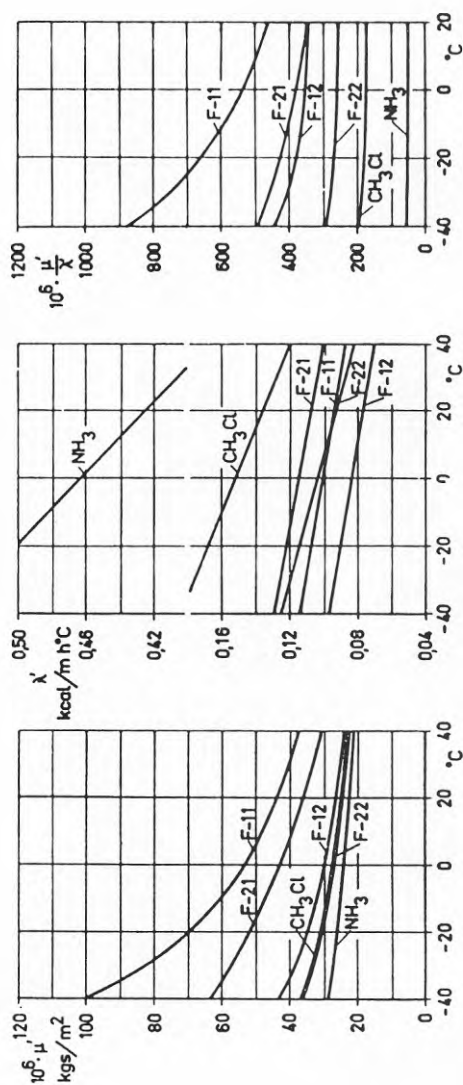
. t_2 betecknar den förångningstemperatur SF anger vid en viss effekt;
 t_{2p} den förångningstemperatur Institutionens program beräknar vid motsvarande effekt.

BILAGA 2

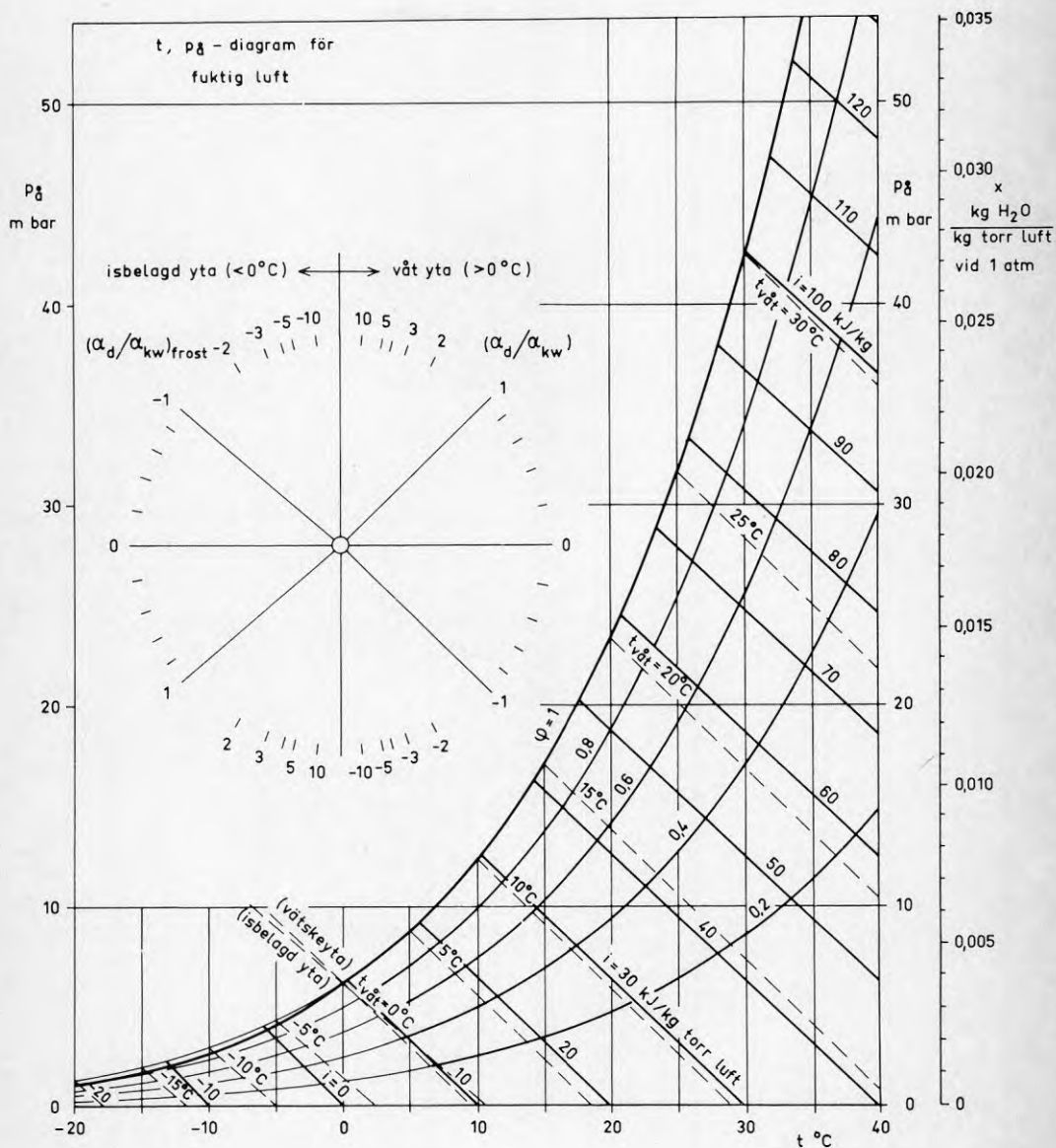
NOMOGRAM FÖR BERÄKNING AV FLÄNSVERKNINGSGRADEN ξ ENLIGT [4]

BILAGA 3

VISKOSITET OCH VÄRMELEDNINGSTAL FÖR OLIKA KÖLDMEDIER I FLYTANDE TILLSTÅND [5]

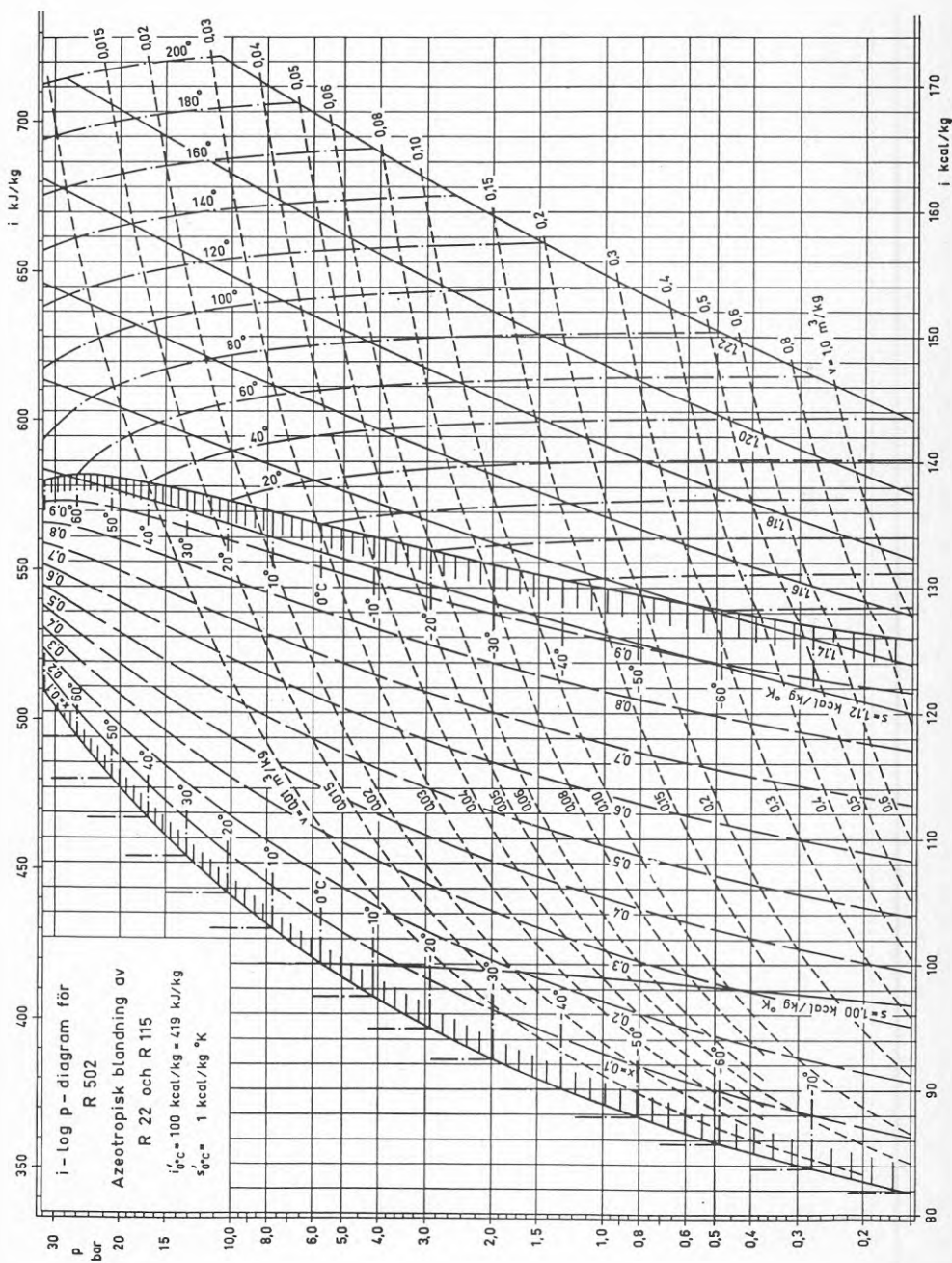


BILAGA 4

NOMOGRAM FÖR BERÄKNING AV VÅT LAST, α_d , ENLIGT [4]

BILAGA 5

KÖLDMEDIEDIAGRAM R502.



BILAGA 6**PROTOKOLL FRÅN LABORATORIEMÄTNINGAR.**



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841139-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för mekanisk värmeteorik och kylteknik, Tekniska högskolan,
Stockholm.**

R13: 1989

ISBN 91-540-4997-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6709013

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna**

Cirka pris: 40 kr exkl moms